

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Juho Rongas

TAPPIVAARNALIITOKSEN MITOITUSOHJELMA

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

RONGAS, JUHO

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Tammikuu 2010

Avainsanat

Tappivaarnaliitoksen mitoitusohjelma

38 sivua + 16 liitesivua

lehtori Juha Karvonen, KyAMK

Insinööritoimisto Ylimäki & Tinkanen Oy, Kotka

eurokoodi, mitoitus, laskentaohjelma, tappivaarnaliitos

Suomessa siirrytään eurokoodien mukaiseen rakenteiden mitoittamiseen vuonna 2011. Tämä muutos luo alan toimijoille aikataulullisia, koulutuksellisia, teknisiä ja taloudellisia paineita.

Näitä paineita keventääkseen Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry on käynnistänyt eurocode-laskentapohjien laadintahankkeen, jossa mukana olevat insinööritoimistot, koulut ja materiaalijärjestöt valmistavat ja testaavat toisilleen eurokoodien mukaisia mitoitusohjelmia ilman rahallista kompensatiota.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä puurakenteisen tappivaarnaliitoksen mitoitusohjelma, joka on yksi SKOL:n projektissa tehtävistä ohjelmista.

Laskentapohja on toteutettu Excel-taulukkolaskentaohjelmalla, kuten suurin osa projektissa toteutettavista ohjelmista. Tässä raportissa on selostettu eurokoodeihin siirtymisen historiaa ja nykytilannetta, kerrottu tappivaarnaliitoksesta ja selvitetty liitoksen mitoitusperusteet.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

RONGAS, JUHO

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

January 2010

Keywords

Dimensioning Program for Dowelled Connections

38 pages + 16 pages of appendices

Juha Karvonen, Senior Lecturer

Ylimäki & Tinkanen Oy, Kotka

eurocode, dimensioning, calculation program, dowelled connections

Finland will transfer to using Eurocodes in the field of dimensioning of the structures. This change will create pressure on scheduling, training, technology and economy of the building trade.

In order to ease this pressure, Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry has launched the Eurocode-dimensioning program preparation project, which involved engineering offices, schools and material manufacturer organizations and testing each other's dimensioning programs without financial compensation.

The aim of this thesis was to create a dimensioning program for dowelled connections in wood construction, which is one of SKOL's project's programs.

This dimensioning program was created with Microsoft Excel, like most of the project's programs. In this report, the history and recent situation of Eurocode transition are described, facts about dowelled connections are given with illustrations, and the essentials of dimensioning of connections are explained.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄYTETYT MERKINNÄT

1	JOHDANTO	8
1.1	Työn tausta	8
1.2	Työn tavoite	8
2	EUROKOODIT	9
2.1	Historia	9
2.2	Nykytilanne Suomessa	9
3	TAPPIVAARNALIITOKSET	10
3.1	BSB-järjestelmä	10
3.2	WS-järjestelmä	11
4	LIITOKSEN MITOITUS	12
4.1	Yleistä	12
4.2	Voimasuureet	16
4.2.1	Voimasuureiden laskenta	16
4.2.2	Voimasuureiden jakaminen liittimille	16
4.3	Materiaaliominaisuudet	18
4.3.1	Puutavara	18
4.3.2	Tappivaarnat ja teräslevyt	19
4.4	Liitoksen leikkauskestävyys	19
4.5	Liitoksen halkeamiskestävyys	22
4.6	Lohkeamismurto	23
4.7	Liitoksen teräslevyjen kestävyys	26
4.7.1	Taivutuskestävyys	26
4.7.2	Vetokestävyys	27

4.7.3	Puristuskestävyys	28
4.7.4	Leikkauskestävyys	29
4.7.5	Voimien yhteisvaikutus	29
4.7.6	Reunapuristuskestävyys	30
4.7.7	Palamurtumiskestävyys	31
5	LASKENTAPOHJA	32
5.1	Laskentapohjien laadintahanke	32
5.2	Laskentapohjan laadinta	33
5.3	Laskentapohjan välilehdet	34
5.4	Laskentapohjan testaus	34
6	YHTEENVETO	35
	LÄHTEET	37
	LIITTEET	

Liite 1. Tulosteet tappivaarnaliitoksen mitoitusohjelmasta

KÄYTETYT MERKINNÄT

A	teräslevyn bruttopoikkileikkauksen pinta-ala
a_1	liitinväli puussa syysuuntaan
a_2	liitinväli puussa syitä vastaan kohtisuoraan
a_{3c}	päätyetäisyys puussa kuormittamattomaan päätyyn
a_{3t}	päätyetäisyys puussa kuormitettuun päätyyn
a_{4c}	reunaetäisyys puussa kuormittamattomaan reunaan
a_{4t}	reunaetäisyys puussa kuormitettuun reunaan
A_{net}	teräslevyn nettopoikkileikkauksen pinta-ala
A_v	teräslevyn leikkauspinta-ala
b	puuosan paksuus
D	liittimelle poratun reiän halkaisija
d	liittimen halkaisija
$F_{90,d}$	puutavaran halkeamiskestävyyden mitoitusarvo
$F_{90,k}$	puutavaran halkeamiskestävyyden ominaisarvo
$F_{b,Rd}$	teräslevyn reunapuristuskestävyys
$F_{bs,k}$	ristiinviilutetun LVL:n läpilohkeamiskestävyyden ominaisarvo
$F_{bt,k}$	liitospuun läpilohkeamiskestävyyden ominaisarvo
f_h	puun reunapuristuslujuuden ominaisarvo
$F_{ps,k}$	palalohkeamiskestävyyden ominaisarvo
$f_{r,0,k}$	LVL:n tasoleikkauslujuus
$f_{t,0,k}$	puutavaran vetolujuus
f_u	teräksen vetomurtolujuus
$f_{v,k}$	puutavaran leikkauslujuus
$F_{x,n}$	liittimelle n momentista aiheutuva x -akselin suuntainen voimakomponentti
f_y	teräksen myötöraja
$F_{y,n}$	liittimelle n momentista aiheutuva y -akselin suuntainen voimakomponentti
h	sauvan korkeus
h_e	kauimmaisen liittimen etäisyys kuormitetusta reunasta
I_p	polaarinen jäyhyysmomentti
k_{mod}	muunnoskerroin
$M_{c,Rd}$	teräksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo

M_{Ed}	liitosta rasittava momentti
M_{Ed}	liitosta rasittava momentti
M_y	liittimen myötömomentti
$N_{c,Rd}$	teräslevyn puristuskestävyyden mitoitusarvo
N_{Ed}	vetovoiman mitoitusarvo
n_{ef}	tehollinen liitinmäärä puun syiden suunnassa
n_i	liitinmäärä puun syiden suuntaisessa rivissä i
$N_{pl,Rd}$	teräslevyn bruttopoikkileikkauksen vetokestävyyden mitoitusarvo
$N_{t,Rd}$	vetokestävyyden mitoitusarvo
$N_{u,Rd}$	teräslevyn nettopoikkileikkauksen vetokestävyyden mitoitusarvo
R_k	liittimen leikkauskestävyyden ominaisarvo yhtä leikettä kohti
t_1 ja t_2	reunaosien puutavaran paksuudet
t_s	keskiosan puutavaran paksuus
$V_{c,Rd}$	teräslevyn leikkauskestävyyden mitoitusarvo
V_{Ed}	leikkausvoiman mitoitusarvo
$V_{eff,Rd}$	teräslevyn palamurtumiskestävyys
W_{pl}	plastinen taivutusvastus
X_d	kestävyyden (yleisesti) mitoitusarvo
X_k	kestävyyden (yleisesti) ominaisarvo
γ_M	puutavaran osavarmuuskerroin
γ_{M0}	teräksen osavarmuuskerroin
γ_{M1}	teräksen osavarmuuskerroin
γ_{M2}	teräksen osavarmuuskerroin
Δx_n	liittimen n ja liitosalueen painopisteen välinen x-akselin suuntainen etäisyys
Δy_n	liittimen n ja liitosalueen painopisteen välinen y-akselin suuntainen etäisyys
ρ_k	puutavaran ominaistiheys

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Suomessa siirrytään käyttämään rakennesuunnittelussa eurokoodien mukaista mitoistusta vuonna 2011. Tämä muutos aiheuttaa suunnittelutoimistoille koulutuksellisia, aikataulullisia, teknisiä ja mahdollisesti myös taloudellisia paineita. (1.)

Näitä paineita keventääkseen Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry on käynnistänyt hankkeen, jossa laaditaan eurokoodien mukaisia laskentapohjia eri materiaaleille ja rakenteille.

Hankkeen tavoitteena on tuottaa käytännön rakennesuunnitteluun hyvin soveltuvat, riittävän tasokkaat ja toiminnaltaan virheettömät laskentapohjat hankkeeseen osallistuvien osapuolten käyttöön 1.4.2010 mennessä. (1.)

Hankkeeseen osallistui yhteensä noin 30 suunnittelutoimistoa, oppilaitosta ja materiaalijärjestöä. Hankkeessa toteutetaan noin 100 erilaista laskentapohjaa. Tämä opinnäytetyö on yksi näistä laskentapohjista. Työn toimeksiantaja on Insinööritoimisto Ylimäki & Tinkanen Oy, joka on yksi hankkeeseen osallistuneista suunnittelutoimistoista.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on tehdä Microsoft Excelillä SKOL ry:n eurocode-laskentapohjien laadintahankkeen vaatimusten määrittelyn mukainen mitoitusohjelma. Sillä voidaan mitoittaa puurakenteinen liitos, jossa liittiminä käytetään tappivaarvoja.

Laskentapohjan täytyy mitoittaa liitos mahdollisimman tarkasti eurokoodien mukaisesti. Ohjelman tulisi olla mahdollisimman selkeä, helppokäyttöinen ja käyttäjää opastava, niin että suunnittelija pystyy kohtuullisen lyhyellä perehtymisellä käyttämään mitoitusohjelmaa, vaikka ei olisi aiemmin käyttänyt sitä.

Ohjelman on oltava riittävän yleispätevä erityyppisille liitoksille, eikä se saa keskittyä vain tietynlaiseen liitokseen, koska tällöin ohjelman käyttö jäisi hyvin marginaaliseksi.

2 EUROKOODIT

2.1 Historia

Vuonna 1975 Euroopan komissio päätti toimenpideohjelmasta, jonka tarkoituksena on poistaa kaupan teknisiä esteitä ja harmonisoida teknisiä määräyksiä. Tämän ohjelman pohjalta komissio teki aloitteen valmistella rakennusten rakenteellisen suunnittelun ohjeet, jotka ensivaiheessa olisivat vaihtoehtona kansallisille ohjeille ja myöhemmin korvaisivat kansalliset ohjeet kokonaan. (2.)

Komissio julkaisi jäsenmaiden ohjausryhmän avustamana ensimmäisen sukupolven eurokoodit vuonna 1984. Vuonna 1989 komissio ja jäsenmaat päättivät siirtää valmistelun ja julkaisemisen CEN:lle (European Committee for Standardization), tarkoituksenaan julkaista eurokoodit EN-standardeina. (2.)

CEN julkaisi 62 kappaletta Eurokoodeja esistandardeina (ENV) vuosina 1992 - 1998. ENV-versioihin jätettiin niin sanotut ”boxed values”, joihin jäsenmaat saivat asettaa omat arvonsa, jotka ilmoitettiin kansallisissa soveltamisasiakirjoissa (National application documents NAD). (2.)

ENV-versioiden muuttaminen varsinaisiksi EN-standardeiksi alkoi vuonna 1998. EN-standardeissa on kansallisesti määrättäviä parametreja (Nationally determined parameters NDP). EN-standardeissa on suositusarvot näille NDP:lle, mutta jäsenmaat voivat antaa omia arvojaan kansallisessa liitteessä (National annex NA). (2.)

Eurokoodien 18 ensimmäistä kansallista liitettä tuli voimaan 1.11.2007. Tällöin alkoi rinnakkaiskäyttö, jonka aikana on mahdollista suunnitella kantavia rakenteita joko Suomen rakentamismääräyskokoelman tai eurokoodien mukaan. (3.)

2.2 Nykytilanne Suomessa

CEN on julkaissut eurokoodeja 58 kappaletta. Näistä 46:een Suomen ympäristöministeriö antaa kansallisen liitteen, joista suurin osa on jo julkaistu. Viimeiset kansalliset liitteet julkaistaan helmikuussa 2010. (4.)

Suomen rakentamismääräyskokoelman B-sarjaa uusitaan ja rinnakkaiskäyttö jatkuu vuoteen 2011 saakka. ENV-esistandardien käyttö päättyy kuitenkin 31.3.2010.

3 TAPPIVAARNALIITOKSET

Tappivaarnaliitos on oletettavasti vanhin vaarnaliitostyyppi. Sen käytettävyys on parhaimmillaan suurten jännevälien sauvarakenteissa. Tappivaarnaliitoksen käyttö Suomessa on melko vähäistä, mikä johtuu tiedon puutteesta sekä suunnittelussa että valmistuksessa. Keski-Euroopassa, missä on pidemmät perinteet puurakentamisessa, on lukuisia näyttäviä puurakenteita, jotka on toteutettu tappivaarnaliitoksilla. (5.)

Tappivaarnaliitoksessa voi olla mukana yksi tai useampia teräslevyjä, tai se voi olla tyypiltään puu-puu-puuliitos. Liitoksessa on oltava mukana aina sidepultteja, jotka pitävät liitoksen kasassa. Sidepultit ovat tappivaarnoja, joiden päihin on tehty kierteet muttereita varten. Vaarnatapit voidaan upottaa puuhun ja peittää puutapeilla, jolloin liitos on melko näkymätön ja näkyviin jäävät puurakenteet ovat esteettisemmän näköisiä. (6.)

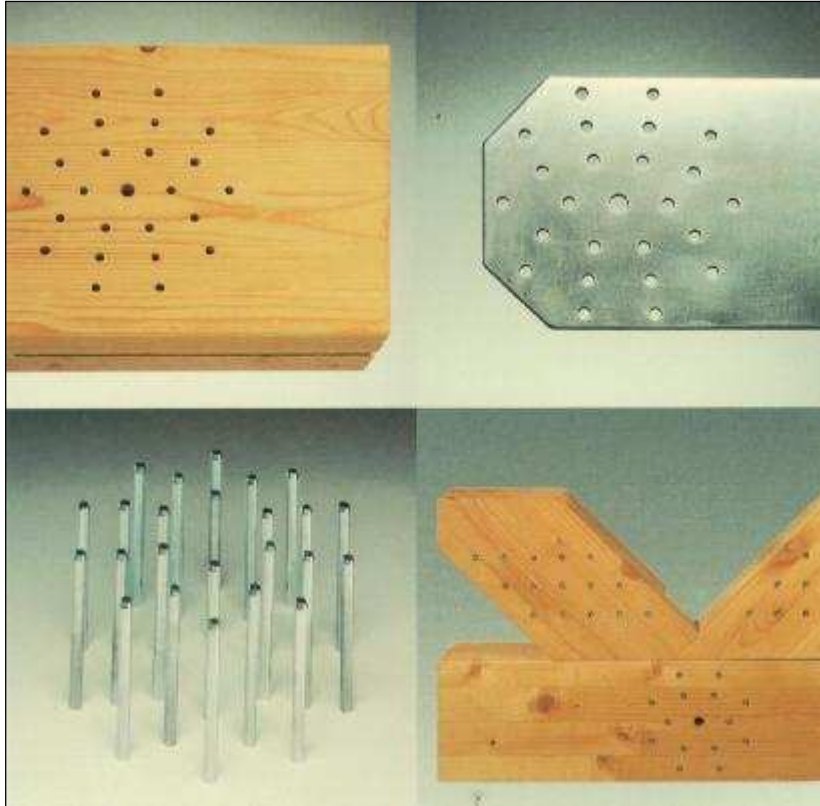
Tappivaarna on sileäpintainen pyöröteräspuikko, jonka päät on viistetty tai pyöristetty, jotta se ei porattuun reikään asennettaessa riko puuta. Tappivaarnan paksuus on vähintään 6 mm ja enintään 30 mm. (6.)

Tappivaarnaliitoksen etuja verrattuna pulttiliitokseen ovat tarkan sovituksen ansiosta pienemmät liitossiirtymät, huomaamattomampi liitos ja halvemmat liittimet. Pulosuojaus on helpompaa, sillä liittimet voidaan upottaa puuhun. (6.)

3.1 BSB-järjestelmä

Sveitsiläinen BSB-liitos (Blumber system bauweise) on tunnetuin teräslevyinen tappivaarnaliitosjärjestelmä. Liitos voidaan valmistaa tietokoneohjatulla sahaus-porausjärjestelmällä, jota kutsutaan ”Blumberin linjaksi”. Liitos on myös mahdollista tehdä käsityönä, jolloin poraus tapahtuu pylväsporakoneella ja puuosien urat työstehtään sahalla. (6.)

BSB-järjestelmään kuuluvat tappivaarnat, joiden halkaisija on 6,3 mm ja pituus 80 – 400 mm, ja teräslevyt, joiden paksuus on 5 mm. Puuosiin porattavat reiät ovat halkaisijaltaan 6 mm ja teräsosien reiät 7 mm. Teräslevyjen väli on 40 mm. (6)



Kuva 1. BSB-järjestelmän mukainen tappivaarnaliitos

3.2 WS-järjestelmä

Sveitsiläiseen WS-järjestelmään kuuluvat WS-T-liittimet, jotka ovat itseporautuvia, karkaistusta hiiliteräksestä valmistettuja tappivaarnoja. Liittimiä on saatavilla 5 mm:n halkaisijalla 73 – 193 mm pitkinä ja 7 mm:n halkaisijalla 113 – 233 mm pitkiä. Liittimen on oltava 7 mm puun paksuutta lyhyempi, joten se soveltuu 80 – 240 mm:n puunpaksuuksille ja kaksipuolisena 480 mm:iin saakka. (7.)

Liittimissä on porakärki ja ne porautuvat samalla kertaa sekä puun että teräslevyjen läpi. Liittimet asennetaan joko käsikäyttöisellä CF WS/M -asennustyökalulla tai puoliautomaattisella CF WS/P -asennuskoneella. (7.)

Liitoksissa voidaan käyttää 5 mm:n liittimillä 1 – 3 kappaletta 5mm:n paksuisia teräslevyjä ja 7 mm liittimillä 1 - 3 kappaletta 5 mm:n paksuisia tai yhtä 10 mm paksuista teräslevyä. (5.)

Järjestelmä soveltuu ristikon liitoksiin, pilareiden ja palkkien liitoksiin, kehän kulma-liitoksiin sekä jatkosliitoksiin. Järjestelmän teräsosilla voidaan myös toteuttaa työmaalla tehtäviä liitoksia. (5.)

4 LIITOKSEN MITOITUS

Liitos mitoitetaan RIL 205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohje Eurokoodi EN 1995-1-1:n mukaisesti. Tämä suunnitteluohje on lyhennetty ja tiivistetty versio alkuperäisestä EN-standardista, ja siihen on myös sisällytetty valmiiksi kansallisessa liitteessä tehtyyt Suomea koskevat valinnat. Osa suunnitteluohjeen kaavoista on osittain yksinkertaistettuja, ja ne johtavat varmalla puolella oleviin tuloksiin. (8.)

Tässä työssä käsitellään ainoastaan liitoksen mitoitusta. Liitettävät puuosat on mitoitettava erikseen esimerkiksi suunnitteluohjeen RIL 205-1-2007 mukaisesti.

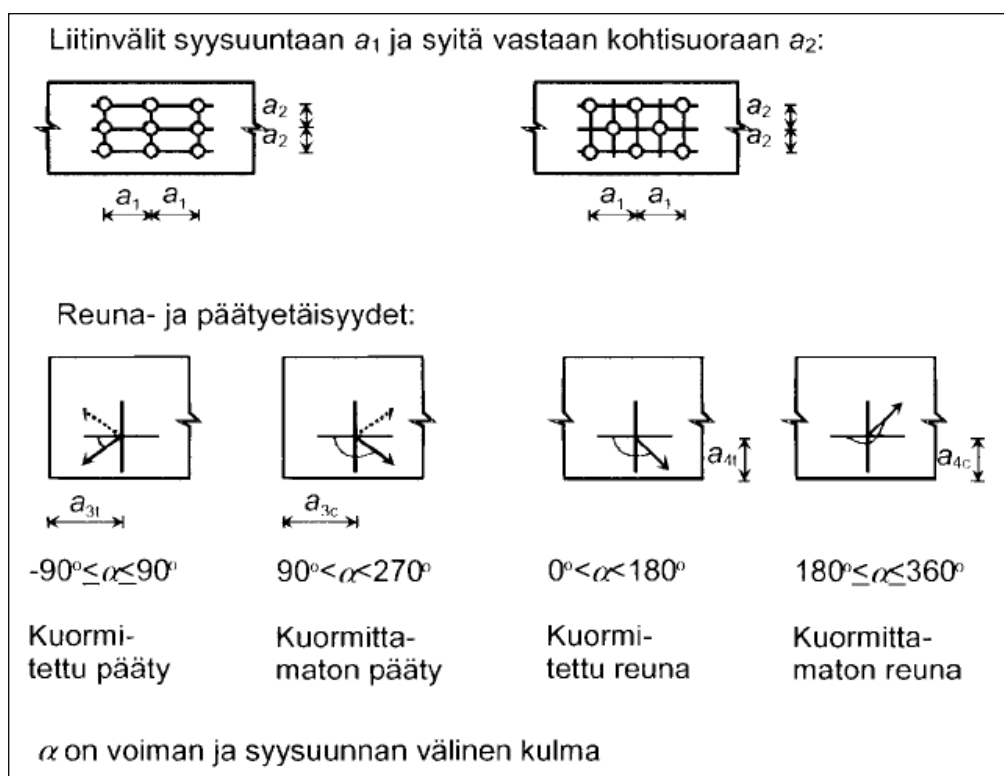
4.1 Yleistä

Tappivaarnaliitoksen mitoituksessa sovelletaan leikkauskuormitettuja pultteja koskevia sääntöjä. Tappivaarnan leikkauskestävyys leikettä kohden R_k saadaan kertomalla vastaavan pulttiliitoksen kestävyys kertoimella 0,8. Jos tappivaarnan pää jää puuosan sisään, käytetään mitoituksessa puuosan paksuutena tappivaarnan tunkeumaa vastaavaa mitta. (8.)

Taulukko 1. Liittimien minimivälit ja -päätyetäisyydet (8)

		Puutavara yleensä	Kerto-Q-LVL
a_1	Syysuuntaan	$(4+ \cos\alpha)d$ ¹⁾	4d
a_2	Syitä vastaan kohtisuorasti	3d	3d
a_{3t}	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d ; 80 \text{ mm})$ ¹⁾	$\max(4d ; 60 \text{ mm})$
a_{3c}	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	4d	4d
	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$	$\max((1+6 \sin\alpha)d ; 4d)$	4d
	$210^\circ < \alpha < 270^\circ$		
a_{4t}	$0^\circ < \alpha < 180^\circ$	$\max((2+2 \sin\alpha)d ; 3d)$	$\max((2+2 \sin\alpha)d ; 3d)$
a_{4c}	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3d	3d

¹⁾ Kerto-S-LVL:llä $a_{1,\min} = (4+3|\cos\alpha|)d$ ja $a_{3,t,\min} = \max(7d ; 105 \text{ mm})$



Kuva 2. Liitinvälien sekä reuna- ja päätyetäisyyksien määritelmät (8)

Tappivaarnojen minimivälit ja -päätyetäisyydet on esitetty taulukossa 1 ja kuvassa 2. Tappivaarnan paksuuden on oltava vähintään 6 mm ja enintään 30 mm. Paksuustoleranssi on -0 / +0,1 mm. Tappia varten puuhun porattavan reiän halkaisija saa olla enin-

tään tappivaarnan nimellispaksuuden d suuruinen ja minimihalkaisija on $0,95d$. Teräslevyyn porattavan reiän halkaisija saa olla yleensä enintään D .

$$D = d + 1mm \leq 1,1d \quad (1)$$

RIL 205-1-2007 -ohjeen mukaan laskettaessa teräslevyihin voidaan kuitenkin porata 2 mm tappivaarnan halkaisijaa suuremmat reiät silloin, kun puuosien paksuudet täyttävät seuraavat ehdot:

$$t_1 \text{ ja } t_2 \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{M_y}{f_h \cdot d}} \text{ ja} \quad (2)$$

$$t_s \geq 4 \cdot \sqrt{\frac{M_y}{f_h \cdot d}}, \quad (3)$$

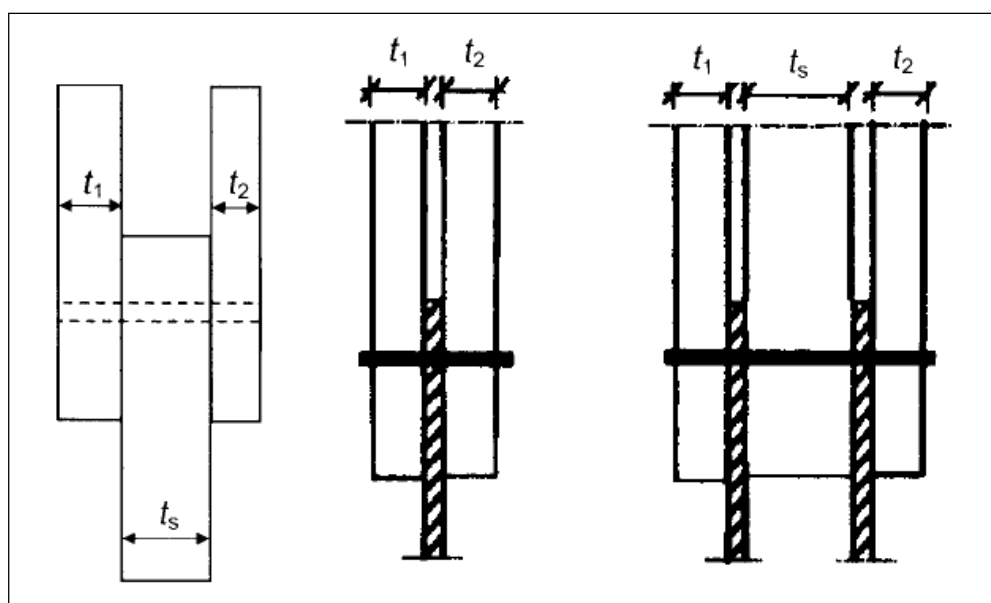
missä

f_h puun reunapuristuslujuuden ominaisarvo kaava (13)

M_y tappivaarnan myötömomentti kaava (14)

t_1 ja t_2 liitoksen reunaosien puutavaran paksuudet (kuva 3)

t_s liitoksen keskiosan puutavaran paksuus (kuva 3)



Kuva 3. Liitoksen keskiosan ja reunaosien määritelmät (8)

Tappivaarnaliitoksessa on käytettävä aina sidepultteja, jotka pitävät liitoskappaleet yhdessä. Sidepulttien määrä on vähintään 1/10 tappivaarnojen määrästä. Vähintään yksi sidepultti sijoitetaan liitoksen reunaosien päitä lähinnä olevaan liitinriviin. Mikäli sidepultit ovat valmistettu samasta materiaalista kuin muut tappivaarnat, ne voidaan laskelmissa hyödyntää leikkausvoimaa siirtävinä tappivaarnoina.

Liitos mitoitetaan murtorajatilassa, ja kaavoista saatavat kestävyyskertoimien ominaisarvot on jaettava osavarmuuskertoimella. Jos mitoitetaan liitosta, jossa on mukana useita puutavaralaatuja, valitaan osavarmuuskertoimen sen materiaalin mukaan, jolla se on suurin. Osavarmuuskertoimet on esitetty taulukoissa 2 ja 3. Lisäksi kestävyys on kerrottava kosteusolosuhteista ja kuorman kestosta riippuvalla muuntokertoimella k_{mod} , jonka arvot on esitetty taulukossa 4. Näin saadaan kestävyysmitoitussarvo, jota verrataan laskentakuormista aiheutuviin voimasuureisiin.

Taulukko 2. Puutavaran osavarmuuskertoimet γ_M (8.)

Sahatavara C18 - C30	1,4
Sahatavara C40	1,25
Liimapuu	1,2
LVL	1,2

Taulukko 3. Teräksen osavarmuuskertoimet (9.)

γ_{M0}	1,0
γ_{M1}	1,0
γ_{M2}	1,25

Kestävyysmitoitussarvo X_d lasketaan siis seuraavasti:

$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}, \quad (4)$$

missä

X_k lujuusominaisuuden ominaisarvo

k_{mod} muunnoskerroin

γ_M materiaalin osavarmuuskertoimen.

Taulukko 4. Muunnoskerroimen k_{mod} arvot eri käyttö- ja aikaluokissa (8.)

Käyttö- luokka	Kuorman aikaluokka				
	Pysyvä	Pitkä- aikainen	Keski- pitkä	Lyhyt- aikainen	Hetkel- linen
1	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
2	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
3	0,5	0,55	0,65	0,7	0,9

4.2 Voimasuureet

4.2.1 Voimasuureiden laskenta

Eurokoodien ja Rakentamismääräyskokoelman sekakäyttö on kielletty, joten voimasuureet on laskettava käyttäen Eurokoodin mukaisia kuormituksia. Rakennusten kuormitukset esitetään EN-1991-1:n eri osissa.

Voimasuureet voidaan yksinkertaisissa rakenteissa laskea käsin, mutta monimutkaisemmissa rakenteissa on suositeltavaa käyttää jotakin FEM-ohjelmaa (finite element method).

4.2.2 Voimasuureiden jakaminen liittimille

Liitoksessa vaikuttavia voimasuureita ovat normaalivoima, leikkausvoima ja momentti. Momentti syntyy kahdesta osatekijästä: ulkoisten kuormien aiheuttamasta momentista sekä leikkausvoiman ja liitosalueen painopisteen välisen epäkeskisyyden aiheuttamasta momentista. Liitosalueella tarkoitetaan liittimien muodostamaa aluetta. Tässä työssä käsitellään vain suorakulmion muotoisia liitosalueita, joissa liittimien painopiste sijaitsee samassa kohdassa kuin liitosalueen painopiste.

Liitoksen mitoittamiseksi on ratkaistava rasitetuin liitin. Se ratkaistaan jakamalla voimasuureet liittimille. Jos liitosta rasittaa momentti, rasitetuin liitin on jokin liitosalueen painopisteestä kauimpana sijaitsevista liittimistä, eli jos liitosalue on suorakulmainen, rasitetuin liitin on jokin kulmassa sijaitsevista liittimistä.

Normaalivoima ja leikkausvoima jaetaan vaaka- ja pystyvoimakomponentteihin. Nämä komponentit jaetaan tasan kaikille liittimille.

Momentin jakamista varten on laskettava liitosalueen polaarinen jäyhyysmomentti I_p .

$$I_p = \Delta x_1^2 + \Delta y_1^2 + \Delta x_2^2 + \Delta y_2^2 + \dots + \Delta x_n^2 + \Delta y_n^2, \quad (5)$$

missä

Δx_n liittimen n ja liitosalueen painopisteen välinen x-akselin suuntainen etäisyys

Δy_n liittimen n ja liitosalueen painopisteen välinen y-akselin suuntainen etäisyys.

Polaarisen jäyhyysmomentin avulla saadaan laskettua jokaiselle liittimelle tulevat momentista aiheutuvat pysty- ja vaakavoimakomponentit. Liittimelle n tuleva momentista aiheutuva vaakavoimakomponentti lasketaan kaavasta:

$$F_{x,n} = \frac{M_{Ed} \cdot \Delta y_n}{I_p}, \quad (6)$$

missä

M_{Ed} liitosta rasittava momentti

I_p polaarinen jäyhyysmomentti.

Liittimelle n tuleva pystyvoimakomponentti lasketaan vastaavasti:

$$F_{y,n} = \frac{M_{Ed} \cdot \Delta x_n}{I_p}. \quad (7)$$

Näistä kaavoista voidaan päätellä, että momentti aiheuttaa suurimmat voimat liitosalueen painopisteestä etäisimpiin liittimiin ja toisaalta, että mitä laajempi liitosalue on, sitä pienemmän voiman momentti aiheuttaa yksittäisille liittimille.

Kun voimasuureet on jaettu liittimille, eri voimasuureista aiheutuneet voimakomponentit redusoidaan jokaiselle liittimelle ja etsitään rasitetuin liitin. Tässä on syytä huomioda se, että rasitetuin liitin ei välttämättä ole se, jonka redusoitu voima on suurin, koska liittimen leikkauskapasiteettiin vaikuttaa myös voiman suuntakulma. (Kaavat 11 ja 18.)

4.3 Materiaaliominaisuudet

4.3.1 Puutavara

Tässä työssä käsiteltävät puutavarat ja niiden ominaisuudet, joita tarvitaan liitoksen mitoituksessa, näkyvät taulukossa 5.

Taulukko 5. Puutavaroiden ominaisuudet (8.)

	Vetolujuus (N/mm ²) $f_{t,0,k}$	Leikkauslujuus (N/mm ²) $f_{v,k}$	Tasoleikkauslujuus (N/mm ²) $f_{r,0,k}$	Ominaistiheys (kg/m ³) ρ_k
C18	11	2,0		380
C24	14	2,5		420
C30	18	3,0		460
C40	24	3,8		500
GL24c	14	2,2		350
GL28c	16,5	2,7		380
GL28h	19,5	3,2		410
GL32c	19,5	3,2		410
GL32h	22,5	3,8		430
KERTO-S	35	4,1	2,3	480
KERTO-Q	26	4,5	1,3	480
KERTO-T	24	2,4	1,3	410

Liitoksen mitoituksessa tarvitaan myös materiaalien osavarmuuskertoimia jotka näkyvät taulukossa 2.

Puutuotteille ilmoitetut ominaislujuudet vastaavat 5 minuutin kuormitusaikaa ja kosteusolosuhdetta RH 65 %. Materiaaliominaisuuksien mitoitusarvojen määrittämiseksi on käytettävä kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muuntokerrointa k_{mod} , joka näkyy taulukossa 4. Rakenteen käyttöluokat on esitetty taulukossa 6 ja kuormien aika-luokat taulukossa 7. (8.)

Taulukko 6. Käyttöluokat (8.)

Käyttöluokka	Rakenne sijaitsee
1	Lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavissa olosuhteissa, kokonaan tai palkin vedetty puoli lämmöneristekerroksessa
2	Ulkoilmassa katetussa ja tuulettuvassa tilassa hyvin säältä suojattuna
3	Ulkoilmassa säälle alttiina

Taulukko 7. Kuormien aikaluokat (8.)

Aikaluokka	Kuormitukset
Pysyvä	Oma paino Pysyvästi rakenteeseen kiinnitetyt koneet, laitteet ja kevyet väliseinät Maanpaine
Pitkäaikainen	Varastoidut tavarat, vesisäiliökuorma
Keskipitkä	Lumi Lattioiden ja parvekkeiden hyötykuormat Autotallien ja liikennöintialueiden hyötykuormat Kosteuden vaihtelun aiheuttamat kuormat
Lyhytaikainen	Portaiden hyötykuormat Hyötykuorman pistekuorma Kunnossapito- tai henkilökuormat katolla Ajoneuvokuormat Asennuskuormat
Hetkellinen	Tuuli Onnettomuuskuorma

4.3.2 Tappivaarnat ja teräslevyt

Taulukossa 8 on esitetty tässä työssä käsiteltävät teräsmateriaalit ja niiden lujuusominaisuudet. Teräslajit ovat standardin EN 10025-2 mukaisia. Taulukossa 3 on esitetty teräksen osavarmuuskertoimet.

Taulukko 8. Teräslajien ominaisuudet (9)

Teräslaji	Myötöraja f_y (N/mm ²)	Vetomurtolujuus f_u (N/mm ²)
S 235	235	360
S 355	355	510

4.4 Liitoksen leikkauskestävyys

Liitoksen leikkauskestävyyden tarkastelu voidaan jakaa kahteen osaan: yksittäisen liitimen leikkauskestävyyteen ja koko liitosalueen leikkauskestävyyteen. Jos liitosta rasittaa momentti, silloin tulee määrääväksi yleensä yksittäisen liitimen leikkauskestävyys, mutta jos liitosta rasittaa vain normaalivoima, voi määrääväksi tulla koko liitosalueen leikkauskestävyys. Tämä johtuu siitä, että vedetyssä sauvanpäälliitoksessa puun syiden suuntaisessa liitinrivissä tehollisesti toimivien liitinten määrä n_{ef} voi olla pienempi kuin liitinten todellinen määrä.

$$n_{ef} = \min \begin{cases} n_i \\ n_i^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a \cdot t}{50 \cdot d^2}} \end{cases}, \quad (8)$$

missä

n_i puun syiden suuntaiseen riviin i sijoitettujen liittimien lukumäärä
 d liittimen paksuus

$$a = \begin{cases} \min(a_1; a_3) & \text{kun } n_i \geq 2 \\ a_3 & \text{kun } n_i = 1 \end{cases} \quad (9)$$

a_1 peräkkäisten liittimien välinen etäisyys puun syiden suunnassa
 a_3 päätyetäisyys

$$t = \begin{cases} \min(t_1; t_2) & \text{liitokset, joissa puutavaraa vain reunaosissa} \\ \min(2t_1; 2t_2; t_s) & \text{muut 2- ja monileikkeiset liitokset} \end{cases} \quad (10)$$

Kun kyseessä on puuosien välinen liitos, yksittäisen liittimen leikkauskestävyyden ominaisarvo R_k yhtä leikettä kohti lasketaan kaavalla:

$$R_k = \min \begin{cases} 0,4 \cdot f_h \cdot t_u \cdot d \cdot \sqrt{1 + \frac{3 \cdot M_y}{f_h \cdot d \cdot t_u^2}} & \text{(A)} \\ 2 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d} & \text{(B)} \end{cases}, \quad (11)$$

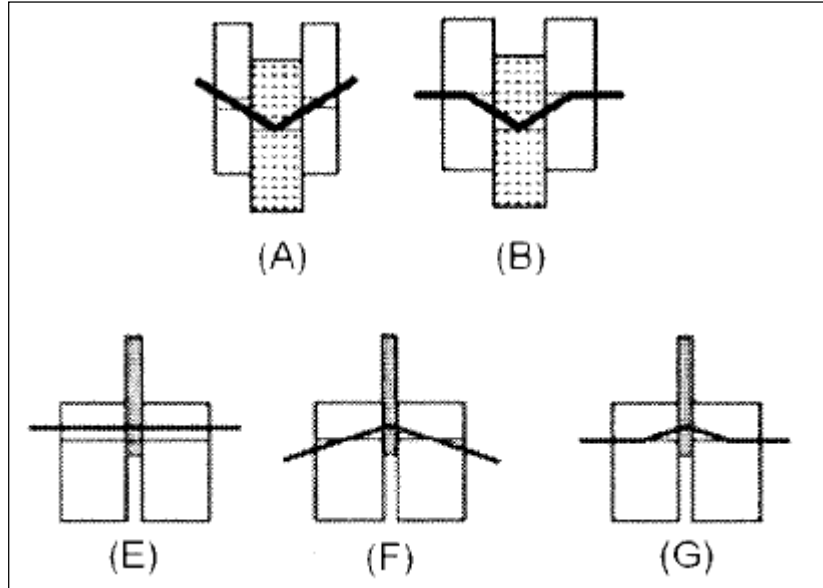
missä

$$t_u = \min \begin{cases} \frac{t_1 \cdot f_{h,1,k}}{f_h} \\ \frac{t_2 \cdot f_{h,2,k}}{f_h} \end{cases} \quad (12)$$

$$f_h = \min(f_{h,1,k}; f_{h,2,k}; f_{h,s,k}) \quad (13)$$

$f_{h,1,k}$ ja $f_{h,2,k}$ reunaosien reunapuristuslujuuksien ominaisarvot
 $f_{h,s,k}$ keskiosan reunapuristuslujuuden ominaisarvo.

Kaavan jälkeen suluissa oleva kirjain ilmaisee murtumistavan, mikäli kyseinen lauseke tulee määrääväksi. Murtumistavat on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Liitoksen murtotavat (8.)

Tappivaarnan myötömomentti M_y lasketaan kaavasta:

$$M_y = 0,3 \cdot f_{uk} \cdot d^{2,6} \quad [\text{Nmm}], \quad (14)$$

missä

f_{uk} tappivaarnan vetomurtolujuuden ominaisarvo.

Puuosien reunapuristuslujuus kulmassa α syysuuntaan nähden lasketaan kaavasta:

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}, \quad (15)$$

missä

$$f_{h,0,k} = \begin{cases} 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k & [\text{N/mm}^2] \text{ puutavaralle yleensä} \\ 37 \cdot (1 - 0,01d) & [\text{N/mm}^2] \text{ kero-Q-LVL:lle} \end{cases} \quad (16)$$

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 \cdot d & \text{havupuulle} \\ 1,30 + 0,015 \cdot d & \text{yhteen suuntaan viilutetulle LVL:lle} \\ 1,15 + 0,015 \cdot d & \text{kero-Q-LVL:lle} \end{cases} \quad , \quad (17)$$

kun $45^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ kerto-Q:n reunapuristuslujuutena voidaan käyttää arvoa $f_{h,45,k}$.

Näissä kaavoissa ominaistiheyden ρ_k yksikkö on $[\text{kg/m}^3]$ ja d yksikkö on $[\text{mm}]$.

Kun liitoksessa on mukana teräslevyjä, lasketaan yksittäisen liittimen leikkauskestävyyden ominaisarvo R_k yhtä leikettä kohden kaavalla:

$$R_k = \min \begin{cases} f_h \cdot t \cdot d & \text{(E)} \\ 1,3 \cdot f_h \cdot t \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_y}{f_h \cdot d \cdot t^2}} - 1 \right] & \text{(F)} \\ 3 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d} & \text{(G)} \end{cases} \quad , \quad (18)$$

missä

t ohuimman puuosan paksuus.

Mikäli liitosta rasittaa momentti, on yksittäisen liittimen kestävyys syytä tarkista jokaisessa kulmassa erikseen, koska liitintä rasittava voima ja voiman suuntakulma vaihtelevat.

Koko liitosalueen leikkauskestävyys saadaan kun lasketaan ensin yksittäisen liittimen leikkauskestävyys käyttäen suuntakulmana koko liitosalueelle redusoidun voiman suuntakulmaa. Kun yksittäisen liittimen leikkauskestävyys on tällä tavoin laskettu, koko liitosalueen leikkauskestävyys saadaan laskettua kertomalla se leikkeiden ja tehollisesti toimivien liittimien määrällä.

4.5 Liitoksen halkeamiskestävyys

Jos koko liitosalueelle redusoitu voima vaikuttaa jossakin syysuunnasta poikkeavassa kulmassa (ks. kuva 5), täytyy syysuuntaan nähden kohtisuora voimakomponentti ottaa huomioon tarkistamalla, että puun halkeamiskestävyys on riittävä seuraavan ehdon mukaisesti:

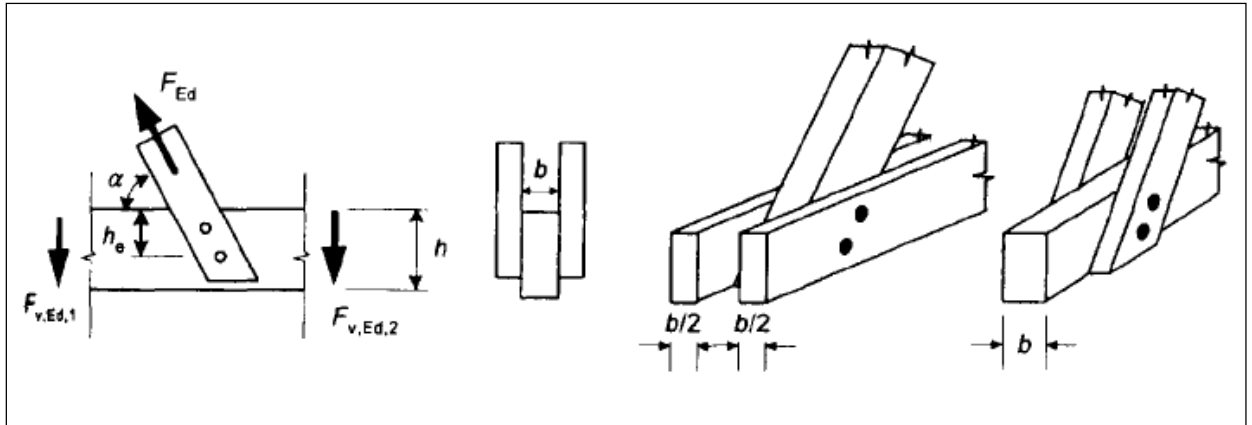
$$F_{v,Ed} \leq F_{90,d} \quad , \quad (19)$$

missä

$F_{90,d}$ halkeamiskestävyyden mitoitusarvo

$F_{v,Ed}$ suurempi arvoista $F_{v,Ed1}$ ja $F_{v,Ed2}$

$F_{v,Ed1}$ ja $F_{v,Ed2}$ puun syitä vastaan kohtisuoran liitosvoimakomponentin $F_{Ed} \sin \alpha$ aiheuttamat leikkausvoimat (ks. kuva 5).



Kuva 5. Syysuuntaan nähden vino liitosvoima (8.)

Havupuutavaran halkeamiskestävyyden ominaisarvo lasketaan kaavalla:

$$F_{90,k} = 14 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \quad [N], \quad (20)$$

missä

b puuosan paksuus kuitenkin enintään liittimien tunkeumasyyvyys [mm]

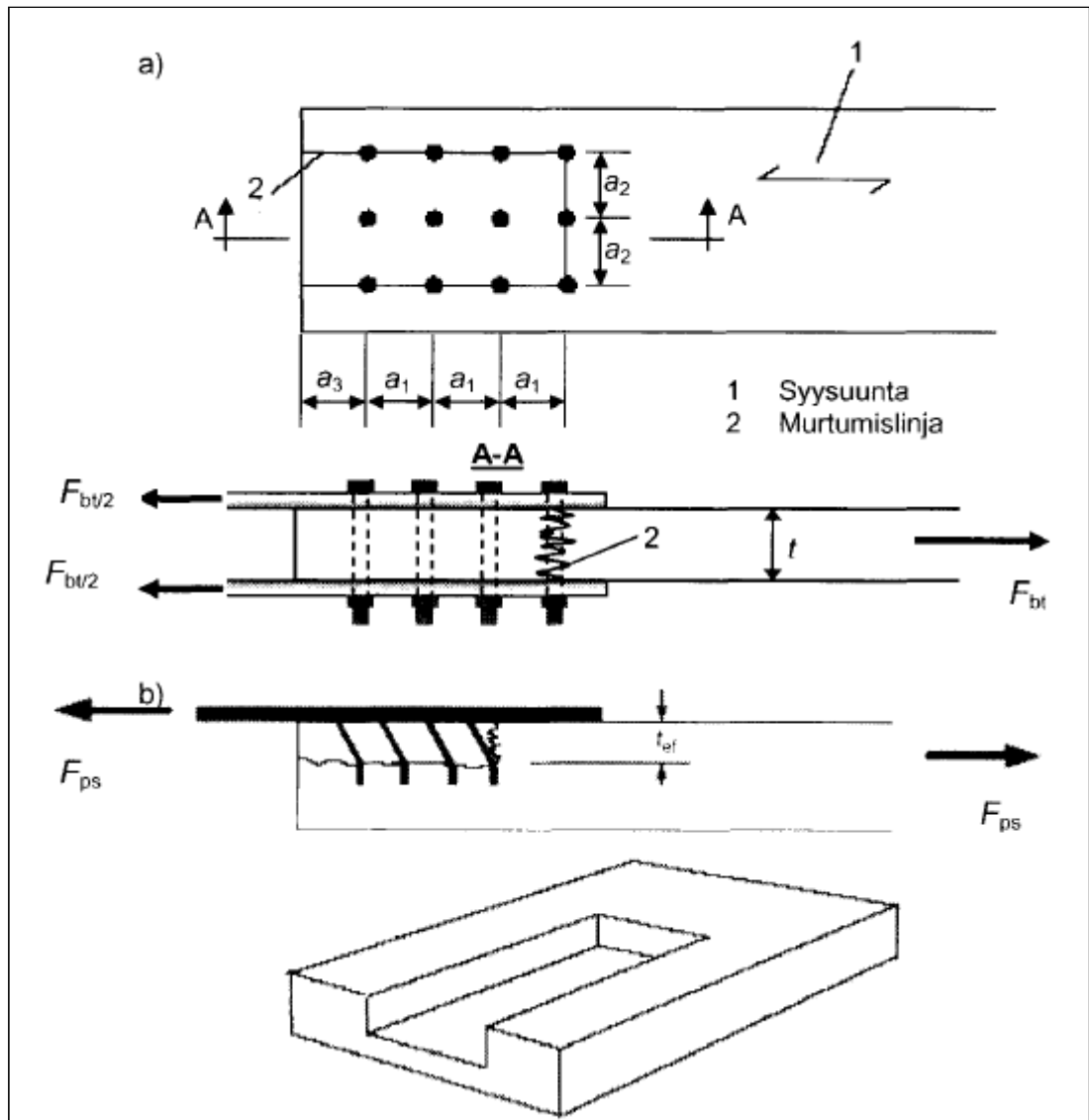
h sauvan korkeus [mm]

h_e kauimmaisen liittimen etäisyys kuormitettuun reunaan [mm] (kuva 5).

4.6 Lohkeamismurto

Liitosalueen lohkeamiskestävyys on tarkastettava syysuuntaisesti vedetyissä sauvanpääliitoksissa. Lohkeamismurtoja on kahta tyyppiä: palalohkeaminen ja läpilohkeami-

nen. Palalohkeaminen tulee kyseeseen yleensä teräslevyllisillä pintaliittimillä, kuten naulalevyillä. Palalohkeaminen voi myös tulla kyseeseen sellaisen teräslevyllisen tappivaarnaliitoksen ulko-osissa, joissa vaarnatapit on upotettu puuhun. Palalohkeamista ei tarvitse tarkistaa sellaisessa tappivaarnaliitoksessa, jossa kaikki liitettävät osat ovat puuta. Läpilohkeaminen voi tulla kyseeseen tappivaarna- ja pulttiliitoksilla. Lohkeamismurrot on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Lohkeamismurtuminen: a) läpilohkeaminen ja b) palalohkeaminen (8.)

Teräslevylliselle tappivaarnaliitokselle, jossa liittimet on upotettu puuhun, on siis tarkastettava sekä läpilohkeamis- että palalohkeamiskestävyys. Ristiin viilutetulle

LVL:lle (Laminated veneer lumber), jonka liitoksissa on käytetty teräslevyjä, on tehtävä aina molemmat tarkastelut.

Lohkeamismurtotarkasteluja ei tehdä sellaisille liitoksille, joissa kaikki liittimet sijaitsevat yhdessä puun syiden suuntaisessa rivissä.

Läpilohkeamismurtotarkastelua ei tarvitse tehdä sellaiselle tappivaarnaliitokselle, jossa puun syysuunnassa peräkkäisten liittimien määrä on enintään neljä ja tappivaarnojen välinen etäisyys poikittaissuunnassa on vähintään 4d.

Liitospuun läpilohkeamiskestävyyden ominaisarvo on

$$F_{bt,k} = L_{net,t} \cdot t_1 \cdot k_{bt} \cdot f_{t,0,k} , \quad (21)$$

missä

$f_{t,0,k}$ puun vetolujuus ilman kokovaikutuskorjausta

$$k_{bt} = \begin{cases} 1,5 & \text{sahatavara ja liimapuu} \\ 1,25 & \text{LVL} \end{cases} \quad (22)$$

$$L_{net,t} = (n_2 - 1) \cdot (a_2 - D) \quad (23)$$

n_2 liitinrivien määrä puun syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa

D liittimelle poratun reiän halkaisija

a_2 liitinrivien välinen etäisyys puun syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa

t_1 tappivaarnan sileän karaosuuden tunkeuma puusauvassa.

Ristiin viilutetun LVL:n läpilohkeamiskestävyys voidaan myös laskea kaavalla (24), jolloin kaavoista (21) ja (24) suuremman arvon antava kestävyys on määräävä.

$$F_{bs,k} = L_{net,t} \cdot t_1 \cdot f_{t,0,k} + 0,7 \cdot L_{net,v} \cdot t_1 \cdot f_{v,k} \quad , \quad (24)$$

missä

$f_{v,k}$ ristiin viilutetun LVL:n syrjäleikkauslujuus pintaviilujen syysuunnassa

$$L_{net,v} = 2 \cdot (a_3 + (n_1 - 1) \cdot (a_1 - D)) \quad (25)$$

a_3 liittimien päätyetäisyys

a_1 liitinrivien välinen etäisyys puun syysuunnassa

n_1 liitinrivien lukumäärä puun syysuunnassa.

Palalohkeamiskestävyyden ominaisarvo on

$$F_{ps,k} = L_{net,t} \cdot (t_{ef} \cdot f_{t,0,k} + (a_3 + (n_1 - 1) \cdot a_1) \cdot f_{v,0,k}) \quad (26)$$

missä

$f_{v,0,k}$ sahatavaralla ja liimapuulla $f_{v,k}$ ja LVL:llä tasoleikkauslujuus $f_{t,0,k}$

$$t_{ef} = \frac{R_k}{d \cdot f_{h,0,k}} \quad (27)$$

R_k liittimen leikkauskestävyys tarkasteltavassa leikkeessä

$f_{h,0,k}$ kaavan 16 mukainen reunapuristuslujuus.

4.7 Liitoksen teräslevyjen kestävyys

Mikäli mitoitettava liitos sisältää teräslevyjä, on myös ne mitoitettava eurokoodien mukaisesti. Teräsosien mitoitusta koskevat ohjeet löytyvät eurokoodien EN1993-1 osista 1 ja 8.

Koska tässä työssä käsiteltävissä liitoksissa teräslevyt ovat aina puuosien välissä, katsotaan niiden olevan suojattuna nurjahdukselta, kiepahdukselta ja lommahdukselta.

4.7.1 Taivutuskestävyys

Taivutuskestävyyden mitoitussarvon $M_{c,Rd}$ tulee aina täyttää seuraava ehto:

$$M_{c,Rd} \geq M_{Ed} , \quad (28)$$

missä

M_{Ed} teräslevyä rasittavan momentin mitoitusarvo.

Teräslevyn taivutuskestävyys lasketaan seuraavasti:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} , \quad (29)$$

missä

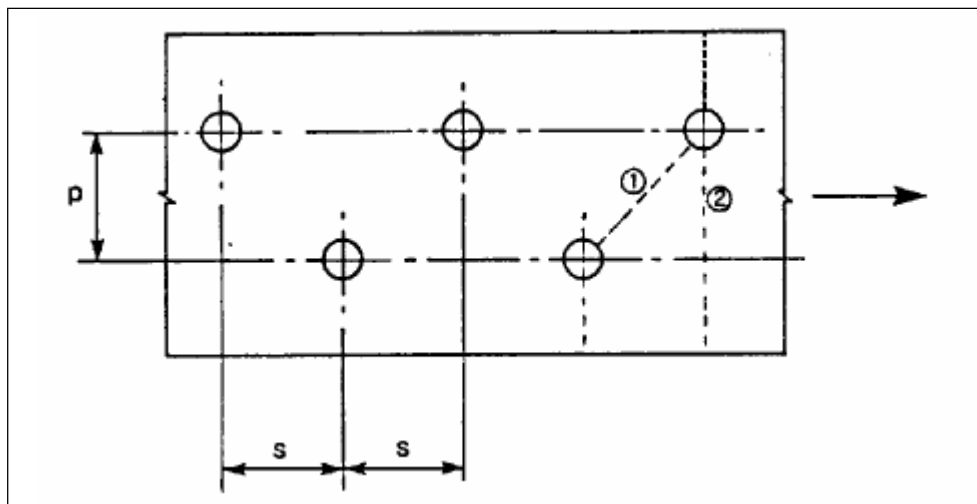
W_{pl} plastinen taivutusvastus, jossa on otettu huomioon levyn reiät

f_y käytetyn teräslaadun myötöraja

γ_{M0} osavarmuuskerroin.

4.7.2 Vetokestävyys

Koska teräslevyssä on reikiä liittimiä varten, vetokestävyys on tarkastettava aina sekä brutto- että nettopoikkileikkaukselle. Määrittävän nettopoikkileikkauksen löytämiseksi voi olla tarpeen tarkistaa kestävyys useammalle poikkileikkaukselle kuvan 7 mukaisesti.



Kuva 7. Murtolinjat 1 ja 2 (10.)

Vetokestävyden mitoitusarvon $N_{t,Rd}$ tulee aina täyttää seuraava ehto:

$$N_{t,Rd} \geq N_{Ed}, \quad (30)$$

missä

N_{Ed} teräslevyä rasittavan vetovoiman mitoitusarvo.

Reiällisessä poikkileikkauksessa vetokestävyden mitoitusarvo $N_{t,Rd}$ on pienempi arvoista $N_{pl,Rd}$ ja $N_{u,Rd}$.

Brutto poikkileikkauksen vetokestävyden mitoitusarvo $N_{pl,Rd}$ lasketaan seuraavasti:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}, \quad (31)$$

missä

A bruttopoikkileikkauksen pinta-ala.

Nettopoikkileikkauksen vetokestävyden mitoitusarvo $N_{u,Rd}$ lasketaan kaavasta:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}, \quad (32)$$

missä

A_{net} nettopoikkileikkauksen pinta-ala.

4.7.3 Puristuskestävyys

Puristuskestävyden mitoitusarvon $N_{c,Rd}$ tulee aina täyttää seuraava ehto:

$$N_{c,Rd} \geq N_{Ed}. \quad (33)$$

Teräslevyn puristuskestävyden mitoitusarvo $N_{c,Rd}$ lasketaan seuraavasti:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}. \quad (34)$$

Puristetussa sauvassa olevia liittimen reikiä ei tarvitse huomioida, jos reiässä on liitin. Puristetussa liitoksessa osa voimista välittyy suoraan puuosalta toiselle ”puskulla”, mutta koska tämän voiman suuruudessa on hyvin paljon epävarmuustekijöitä, on varmempaa mitoittaa liitos aina täydelle puristusvoimalle.

4.7.4 Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyyden mitoitusarvon $V_{c,Rd}$ tulee aina täyttää seuraava ehto:

$$V_{c,Rd} \geq V_{Ed}, \quad (35)$$

missä

V_{Ed} teräslevyä rasittavan leikkausvoiman mitoitusarvo.

Teräslevyn leikkauskestävyyden mitoitusarvo $V_{c,Rd}$ lasketaan kaavasta:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}, \quad (36)$$

missä

A_v leikkauspinta-ala.

4.7.5 Voimien yhteisvaikutus

Leikkausvoiman ja aksiaalisen voiman vaikutus taivutuskestävyyteen on otettava huomioon.

Mikäli leikkausvoiman mitoitusarvo V_{Ed} on yli 50 % leikkauskestävyyden mitoitusarvosta $V_{c,Rd}$, otetaan leikkausvoiman vaikutus huomioon pienentämällä teräksen myötörajaa leikkauspinta-alalle seuraavasti:

$$(1 - \rho) \cdot f_y, \quad (37)$$

missä

$$\rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{c,Rd} - 1)^2. \quad (38)$$

Myötörajan pienentämisen sijasta voidaan myös pienentää vastaavan osan paksuutta.

Leikkauksen, aksiaalisen voiman ja taivutuksen yhteisvaikutustarkastelussa on seuraavan ehdon toteuduttava:

$$M_{N,Rd} \geq M_{Ed} \quad , \quad (39)$$

missä

$$M_{N,Rd} = M_{c,Rd} \cdot \left[1 - \left(N_{Ed} / N_{c,Rd} \right)^2 \right] \quad (40)$$

$M_{c,Rd}$ ja $N_{c,Rd}$ arvoja laskettaessa on otettava huomioon mahdollinen leikkauksen pienentävä vaikutus.

4.7.6 Reunapuristuskestävyys

Liitoksen teräslevyjen reunapuristuskestävyys $F_{b,Rd}$ on tarkastettava seuraavan ehdon mukaisesti:

$$F_{b,Rd} \geq F_{Ed} \quad (41)$$

missä

F_{Ed} yhtä teräslevyä rasittava suurin yksittäisestä liittimestä aiheutuva voima.

Reunapuristuskestävyys $F_{b,Rd}$ lasketaan seuraavasti:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}, \quad (42)$$

missä

$$a_b = \min \left(a_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1, 0 \right) \quad (43)$$

f_{ub} tappivaarnan murtolujuus

f_u teräslevyn murtolujuus

siirrettävän voiman suunnassa:

$$a_d = \begin{cases} \frac{a_{3t}}{3 \cdot D} & \text{levyn pään liittimille} \\ \frac{a_1}{3 \cdot D} - \frac{1}{4} & \text{muille kun pään liittimille} \end{cases} \quad (44)$$

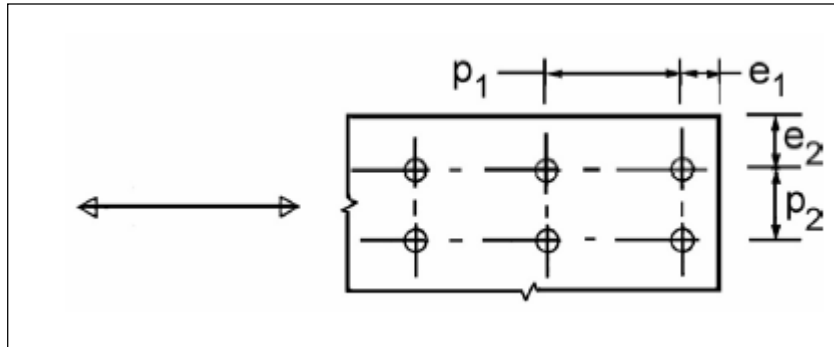
kohtisuorassa suunnassa siirrettävään voimaan nähden:

$$k_1 = \begin{cases} \min \left(2,8 \cdot \frac{a_{4t}}{D} - 1,7 ; 2,5 \right) & \text{reunarivin liittimille} \\ \min \left(1,4 \cdot \frac{a_2}{D} - 1,7 ; 2,5 \right) & \text{muille kun reunan liittimille} \end{cases} \quad (45)$$

liitinvälit ja päätyetäisyydet kuvan 7 mukaan

d tappivaarnan halkaisija

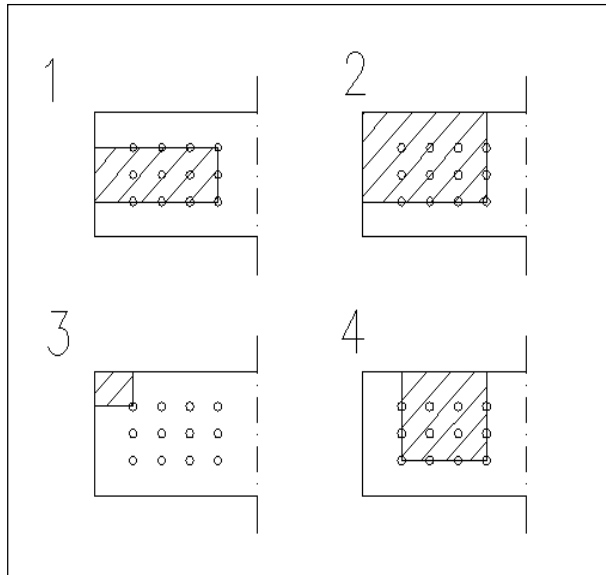
D liittimen reiän halkaisija.



Kuva 8. Liittimien etäisyyksien merkinnät (10)

4.7.7 Palamurtumiskestävyys

Teräslevyn palamurtumiskestävyys koostuu kahdesta osasta: leikatun pinnan leikkauskestävyydestä ja vedetyn pinnan vetokestäväyydestä. Palamurtumistarkastelussa on syytä tutkia useita murtumismalleja määräävän murtotavan löytämiseksi. Murtuminen tapahtuu pitkin ruuvien keskilinjoihin. Murtumistavat on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Palamurtumistavat

Palamurtumiskestävyyden mitoitusarvo $V_{\text{eff},Rd}$ lasketaan seuraavasti:

$$V_{\text{eff},Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}, \quad (46)$$

missä

A_{nt} vedon rasittama nettopinta-ala

A_{nv} leikkauksen rasittama nettopinta-ala.

5 LASKENTAPOHJA

5.1 Laskentapohjien laadintahanke

SKOL:n Eurokoodi-laskentapohjien laadintahankkeessa on laadittu tarkka toiminta-, käyttöliittymä- ja dokumentointiohje laskentapohjien tekemiseen. Tämän ohjeen tarkoitus on, että kaikista laadittavista laskentapohjista (n. 100 kpl) tulisi toiminnaltaan ja käyttöliittymältään hyvin samankaltaisia, jotta niiden käyttäminen olisi mahdollisimman helppoa.

Laskentapohjien ensisijaisia käyttäjiä ovat talonrakennuksen rakennesuunnittelijat, jotka tuntevat laskettavat rakenneosat ja niiden mitoitusperiaatteet. Tyypillisesti ra-

kennesuunnittelija käyttää laskentapohjaa muutaman kuukauden, ehkä vuoden välein, jolloin hän mitoittaa peräkkäin muutamasta useaan kymmeneen rakenneosaa. (11.)

Toissijaisia käyttäjiä ovat rakennusalan opiskelijat ja eurokoodeja opiskelevat ammattilaiset, jotka käyttävät laskentapohjia opiskelun tukena esimerkiksi harjoitustehtävien laskentaan. Heillä laskentapohjien käyttö on yksittäistä. (11.)

Laskentapohjien käytön päätarkoitus on mitoittaa rakenneosa mahdollisimman tehokkaasti, laskennan oikeellisuudesta ja täydellisyydestä tinkimättä. Laskentapohjia ei suunnitella opetuskäyttöön, mutta lomakkeella tehtävien laskennan eri vaiheiden on silti oltava helposti erottuvia ja seurattavia. (11.)

5.2 Laskentapohjan laadinta

Laskentapohjan laadinnan lähtökohtana olivat laskentapohjalle asetetut vaatimukset ja SKOL:n eurocode-laskentapohjien laadintahankkeen toiminta-, käyttöliittymä- ja dokumentointiohje. Ohjelmalle asetetut vaatimukset olivat, että sillä on voitava mitoittaa eurokoodien mukaisesti puurakenteinen tappivaarnaliitos, jota rasittaa normaalivoima, leikkausvoima ja taivutusmomentti. Toiminta-, käyttöliittymä- ja dokumentointiohjeessa oli määritelty ohjelmointialusta, joka on Microsoft Excel - taulukkolaskentaohjelma. Lisäksi oli määritelty ohjelman ulkoasu ja jakaminen välilehdille. Ohjelman välilehdet ovat liitteenä.

Ohjelmapohjan laadinta alkoi tutustumalla SKOL:n ohjeisiin, EN-standardeihin ja RIL 205-2007 -suunnitteluohjeeseen. Seuraavaksi haastateltiin suunnittelijoita, jotka olivat mitoittaneet tappivaarnaliitoksia. Tämä oli erityisen tärkeää, jotta ohjelmasta tulisi mahdollisimman käyttökelpoinen käytännön mitoitusasteisiin.

Päädyttiin siihen, että ohjelmalla on voitava mitoittaa tappivaarnaliitos, joka on tyypiltään puu-puu-puu-liitos tai puu-teräs-liitos yhdellä tai kahdella teräslevyllä. Liitoskapaleiden syysuunnan on voitava olla toisiinsa nähden 0° - 90° :n kulmassa. Liitosta on voitava rasittaa normaalivoimalla, leikkausvoimalla ja momentilla. Kaikki voimat voivat olla positiivisia, negatiivisia tai niitä ei ole ollenkaan, jolloin arvo on 0. Liitintä voi olla 30, ja liittimiä voi olla yhdellä rivillä 30. Liittimet on voitava jakaa kahteen osaan paremman momenttikapasiteetin saavuttamiseksi.

Kun nämä määrittelyt oli tehty, oli seuraavaksi kerättävä kaikki laskennassa tarvittavat kaavat EN-standardeista ja RIL 205-2007 -suunnitteluohjeesta ja laadittava ohjelman vuokaavio eli mitoituksen kulku. Tämän jälkeen laskentapohja voitiin ohjelmoida Exceliin.

Kun ohjelmointi saatiin valmiiksi, ohjelma yksikkötestattiin laskemalla käsin muutama mitoitus esimerkki ja tuloksia verrattiin laskelmapohjalla saatuihin tuloksiin. Yksikkötestauksen jälkeen havaitut virheet korjattiin, ja ohjelma oli valmis lähetettäväksi varmennustestaukseen. Testauksesta on kerrottu lisää luvussa 5.4.

5.3 Laskentapohjan välilehdet

Laskentapohja on jaettu sisällön mukaisille välilehdille. Lähtötiedot välilehdellä syötetään kaikki lähtötiedot ja siinä näytetään myös lähtötietoja selkeyttävät kuvat ja laskennan lopputulokset. Kuvat on ohjelmoitu siten, että ne muuttuvat annettujen lähtötietojen mukaan ja ovat täten mahdollisimman kuvaavia.

Laskentavälilehdillä tapahtuu kaikki laskenta. Laskelmien vaiheet on eritelty ja kaikki välitulokset ovat näkyvillä, jotta laskentaa olisi mahdollisimman helppo seurata. Laskentavälilehtiä on kolme, joista ensimmäisellä on liitoksen puuosien mitoitus, toisella on teräsosien mitoitus ja kolmannella välilehdellä on liitoksen geometrian laskentaa. Geometrian laskentavälilehteä ei ole liitteenä, koska se on erittäin laaja eikä laskennan vaiheita pystyttäisi ymmärrettävästi esittämään.

Tulosvälilehdellä on esitetty laskennassa käytetyt lähtöarvot, lähtöarvoja selkeyttävät kuvat ja laskennan lopputulokset sekä käyttöasteet. Näiden lisäksi ohjelmassa on vuokaavio ja ohjeet omilla välilehdillään.

5.4 Laskentapohjan testaus

Laskentapohjien laadintahankkeen työprosessiin kuuluu myös ohjelman testaus. Ohjelman testaus jakaantuu kahteen osaan: yksikkötestaukseen ja varmennustestaukseen. Yksikkötestauksen suorittaa ohjelman tekijätoimisto, mieluiten kuitenkin joku muu henkilö kun itse ohjelmoija. Yksikkötestaus kattaa laskentapohjan yleisen toiminnan testauksen ja laskennan oikeellisuuden testauksen. Yksikkötestaus on huomattavasti suppeampi, kuin varsinainen varmennustestaus. (12.)

Laskentapohjan varmennustestauksen suorittaa aina eri taho kuin se, joka on toteuttanut sen. Varmennustestaus suoritetaan erillisen testausohjeen mukaisesti. Testaus suoritetaan kattavasti, jotta kaikki laskentapohjia käyttävät osapuolet voivat vakuuttua laskentapohjien käyttökelpoisesta toiminnasta ja laskennan tulosten oikeellisuudesta. (13.)

Varmennustestaus sisältää kattavuuden tarkistamisen, missä selvitetään onko laskentapohjalle toteutettu kaikki laskennan perusteiden ja teorian vaatimukset ja rajoitukset. Lisäksi varmennustestaukseen kuuluu laskentapohjan laskennan oikeellisuuden testaus, missä varmennetaan että rakenneosa lasketaan ja mitoitetaan laskennan perusteiden ja teorioiden mukaisesti sekä laskennan tulokset ovat oikein. (13)

6 YHTEENVETO

SKOL:n Eurokoodi-laskentapohjien laadintahanke on erittäin tärkeä siinä mukana oleville insinööritoimistoille, koska se helpottaa huomattavasti eurokoodien mukaiseen mitoituseseen siirtymistä. Koulutuspaineita tämä projekti ei sinänsä poista, sillä rakennesuunnittelijan on tunnettava eurokoodeilla mitoitus, ennen kun hän voi alkaa käyttää laskentapohjia, mutta projektin ansiosta mukana olevien suunnittelutoimistojen ei tarvitse päivittää itse kaikkia mitoitusohjelmiaan eurokoodien mukaisiksi, mikä vähentää huomattavasti eurokoodeihin siirtymisestä aiheutuvia kustannuksia.

Tappivaarnaliitoksen mitoitusohjelmaa suunniteltaessa laskentateoriat olivat helposti saatavilla suunnitteluohjeista, mutta haastavaa oli löytää tietoa liitosten käytännön mitoittamisesta ja liitossovelluksista, koska kyseessä on Suomessa harvemmin käytetty liitostyyppi.

Mitoitusohjelmaa tehdessä ja suunniteltaessa jouduttiin myös tekemään useita kompromisseja laskennan tarkkuuden ja käyttökelpoisuuden välillä ja siinä, että ohjelma olisi mahdollisimman käyttökelpoinen erityyppisille liitoksille. Yksi esimerkki tästä on liitoksen epäkeskisyys joka on merkittävä tekijä ristikon liitoksen mitoituksessa. Ristikon liitosta mitoittaessa olisi hyvä, että ohjelmaan voisi syöttää useita liitoskappaleita ja kaikille sauvavoimille epäkeskisyyden. Tämä olisi kuitenkin monimutkistanut huomattavasti lähtötietojen syöttämistä laskentalomakkeelle ja koska tällä ohjelmalla ei ole tarkoitus mitoittaa ainoastaan ristikon liitoksia päädyin siihen, että laskentalomakkeelle syötetään vain yksi liitettävä kappale. Ristikoiden liitoksia mitoit-

taessa on nyt siis redusoitava kaikkien liitokseen kohdistuvat sauvavoimat ja epäkeskisyydet on annettava momenttina liitokselle.

Jatkotoimenpiteinä tästä ohjelmasta saisi hyvin helposti muokattua puurakenteiden pulttiliitoksen- tai naulaliitoksenmitoitushjelman. Kaikkien näiden liitosten mitoitus perustuu puikkoliitosteoriaan ja tästä johtuen mitoituskaavat ovat hyvin samantapaisia.

SKOL:n projektissa kaikki puurakenteiden puikkoliitokset oli jaettu eri toimistoille, paljon järkevämpää olisi ollut jakaa nämä kaikki samalle toimistolle, jolloin ohjelmien tekoon käytetty kokonaisaika olisi lyhentynyt huomattavasti.


Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeet erikoisliittimien suhteen ovat olleet liian suppeat tämän tyyppisen liitoksen mitoittamiseen, mutta ehkä nyt Eurokoodien tulon ja toivottavasti myös tämän mitoitusohjelman myötä tappivaarnaliitosten käyttö Suomessa lisääntyy.

LÄHTEET

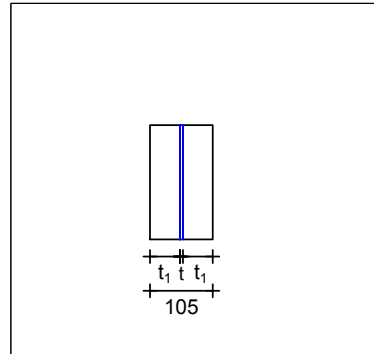
1. SKOL Eurocode-laskentapohjien laadintahanke. Hankkeen yleisohje. Dokumentin versio 1.2, päiväys 2.9.2008.
2. Eurokoodien historiaa. Saatavissa: www.eurocodes.fi/historiaa/contentstausta.htm. [Viitattu 26.12.2009.]
3. Eurokoodien käyttöönottotiedote. Saatavissa: http://www.eurocodes.fi/Eurokoodien_tilanne_nyt/eurokoodien_kayttoonotto.tiedote.pdf. [Viitattu 26.12.2009.]
4. Virtanen, M. 2009. Eurokoodien käyttöönoton tilanne. Eurokoodi seminaari 25.11.2009. Hanasaari.
5. Muuriaisniemi, S. 2004. Ristikön tappivaarnaliitoksen mitoitusohjelma. Insinöörityö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
6. Teräslevyinen tappivaarnaliitos. Saatavissa: <http://raklab.kyamk.fi/puurak/ttv11.htm>. [Viitattu 27.12.2009.]
7. WS-T vaarnaruuvi. Saatavissa: http://www.sfsintec.biz/Internet/SFS15.nsf/PageID/WS_T_5_0_x?OpenDocument&Highlight=0,tappivaarna. [Viitattu 27.12.2009.]
8. RIL 205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohje Eurokoodi EN 1995-1-1. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007.
9. SFS-EN 1993-1-1. 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen Standardisoimisliitto.
10. SFS-EN 1993-1-8. 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: liitosten mitoitus. Suomen Standardisoimisliitto.
11. SKOL Eurocode-laskentapohjien laadintahanke. Toiminta-, käyttöliittymä- ja dokumentointiohje. Dokumentin versio 1.4, päiväys 3.9.2008.

12. SKOL Eurocode-laskentapohjien laadintahanke. Työprosessin määrittely. Dokumentin versio 2.0, päiväys 19.1.2009.

13. SKOL Eurocode-laskentapohjien laadintahanke. Testausohje. Dokumentin versio 1.1, päiväys 18.12.2008.

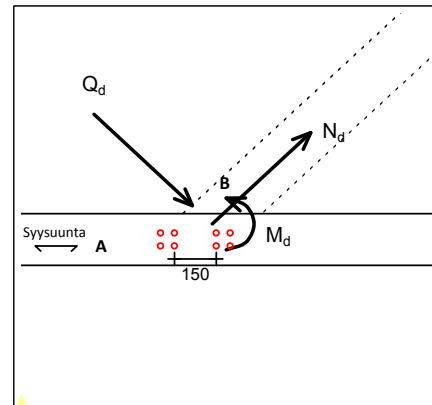
		Rakennelaskelma, lähtötiedot	
		Tekijä: _____	Sivu: 1 (1)
Päiväys: _____			
Rakennuskohde: _____	Työ no: _____	Sisältö: _____	Sijainti: _____
Tappivaarnaliitoksen mitoitus			
Versio 0.2			

Aikaluokka = Keskipitkä
 Käyttöluokka = 2
 Liitoksen tyyppi = 2 leikkeinen Puu - Teräs liitos
 Puutavara t_1 = GL32c
 Puutavara t_s = GL32c
 Tapit = S235
 Teräslevyt = S235
 Tappien määrä rivillä = 4
 Tappirivien määrä = 2
 Tapin halkaisija d = 6 mm
 Liitinväli syysuuntaan = 50 mm
 minimi = 29 mm
 Liitinväli = 50 mm
 minimi = 18 mm



Jaetaanko liittimet
 Vaakasuunnassa kyllä
 Liitinryhmien väli = 150 mm
 Pystysuunnassa ei

Voimat
 N_d = 10 kN
 Q_d = 1 kN
 M_d = 1 kNm
 α_N = 45°



Liituskappaleiden dimensiot

Kappaleen A korkeus = 200 mm
 minimi = 90 mm
 Kappaleen B korkeus = 200 mm
 minimi = 0 mm

Kuvan piirto (Ei vaikuta laskentaan)
 Päätilyiitos: Kyllä Ei
 Päätetytäisyys: 80 mm

Liitosvoimien aiheuttaman leikkausvoiman kerroin = 1

Tarkistukset

Liitosalueen käyttöaste leikkauksen suhteen = 29,9 %
 Yksittäisen liittimen käyttöaste leikkauksen suhteen = 66,6 %
 Käyttöaste halkeamiskestävyyden suhteen = 37,3 %
 Käyttöaste läpilohkeamiskestävyyden suhteen = 9,1 %
 Käyttöaste teräsosan kestävyden suhteen = 28,4 %

Liitoksen kapasiteetti**Voimien jako komponentteihin**

$N_d =$	10 kN	$Q_d =$	-1 kN
$\alpha_N =$	45 °	$\alpha_Q =$	135 °
$\alpha_N =$	0,79 rad	$\alpha_Q =$	2,36 rad
$N_{dx} =$	7,07	$Q_{dx} =$	0,71
$N_{dy} =$	7,07	$Q_{dy} =$	-0,71

$F_x =$	7,78 kN	Kurmitettu pääty sijaitsee liitinalueen: Vasemmalla puolella
$F_y =$	6,36 kN	
$R =$	10,05 kN	
$\alpha =$	0,69 rad	
$\alpha =$	39,29 °	

Reunapuristuslujuuden laskennassa tarvittavat arvot

	1	2	3	4	5	6
			k_{90}	ρ_k	$f_{h,0,k}$	$f_{t,0,k}$
	1	C18	1,4	320	24,67	18,00
	2	C24	1,4	350	26,98	21,00
	3	C30	1,4	380	29,29	23,00
	4	C40	1,4	420	32,37	26,00
	5	GL24c	1,4	350	26,98	14,00
	6	GL28c	1,4	380	29,29	16,50
	7	GL28h	1,4	410	31,60	19,50
	8	GL32c	1,4	410	31,60	19,50
	9	GL32h	1,4	430	33,14	22,50
	10	KERTO-S	1,4	480	37,00	35,00
	11	KERTO-Q	1,2	480	34,78	26,00
	12	KERTO-T	1,4	410	31,60	24,00
valittu t_1	8	GL32c	1,4	410	31,6	19,5
valittu t_s	8	GL32c	1,4	410	31,6	19,5

Tehollinen liitinmäärä

Vaakasuuntaan		Pystysuuntaan	
Liitinmäärä	4	Liitinmäärä	2
$t =$	50 mm		
tehollinen määrä kun α on 0	3,8		
$ \alpha =$	39 °		
$n_{ef} =$	3,9		
	$n_{lod} =$	8	
	$n_{ef,tot} =$	7,8	

Kulmaliittimiä rasittavat voimat

$$\begin{aligned} e_1 &= 205 \text{ mm} \\ e_2 &= 100 \text{ mm} \\ e &= 141 \text{ mm} \\ Q_d &= 1 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 1,14 \text{ kNm} \\ I_p &= 0,090000 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Vasen yläkulma

$$\begin{aligned} \Delta x &= 125 \text{ mm} \\ \Delta y &= -25 \text{ mm} \\ q_{x,F} &= 972 \text{ N} \\ q_{x,M} &= -317 \text{ N} \\ q_x &= 655 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{y,F} &= 795 \text{ N} \\ q_{y,M} &= -1585 \text{ N} \\ q_y &= -790 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= 1026 \text{ N} \\ \alpha_q &= -50^\circ \end{aligned}$$

Oikea yläkulma

$$\begin{aligned} \Delta x &= -125 \text{ mm} \\ \Delta y &= -25 \text{ mm} \\ q_{x,F} &= 972 \text{ N} \\ q_{x,M} &= -317 \text{ N} \\ q_x &= 655 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{y,F} &= 795 \text{ N} \\ q_{y,M} &= 1585 \text{ N} \\ q_y &= 2381 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= 2469 \text{ N} \\ \alpha_q &= 75^\circ \end{aligned}$$

Vasen alakulma

$$\begin{aligned} \Delta x &= 125 \text{ mm} \\ \Delta y &= 25 \text{ mm} \\ q_{x,F} &= 972 \text{ N} \\ q_{x,M} &= 317 \text{ N} \\ q_x &= 1289 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{y,F} &= 795 \text{ N} \\ q_{y,M} &= -1585 \text{ N} \\ q_y &= -790 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= 1512 \text{ N} \\ \alpha_q &= -31^\circ \end{aligned}$$

Oikea alakulma

$$\begin{aligned} \Delta x &= -125 \text{ mm} \\ \Delta y &= 25 \text{ mm} \\ q_{x,F} &= 972 \text{ N} \\ q_{x,M} &= 317 \text{ N} \\ q_x &= 1289 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{y,F} &= 795 \text{ N} \\ q_{y,M} &= 1585 \text{ N} \\ q_y &= 2381 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= 2708 \text{ N} \\ \alpha_q &= 62^\circ \end{aligned}$$

Liittimen leikkauskestävyys vasen yläkulma

$$\begin{aligned} \alpha_q &= -0,9 \text{ rad} \\ \alpha_q - \alpha_N &= -1,7 \text{ rad} \\ f_{h,1,k} &= 25,1 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= 6 \text{ mm} \\ M_y &= 11392 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Puu - puu - puu liitos

$$\begin{aligned} f_{h,s,k} &= 22,0 \text{ N/mm}^2 \\ f_h &= 22,0 \text{ N/mm}^2 \\ t_u &= 57 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_k &= \min(5002 \text{ N} \\ &\quad 3925 \text{ N} \\ &= 3925 \text{ N} \end{aligned}$$

Puu - teräs - puu liitos

$$\begin{aligned} f_h &= 25,1 \text{ N/mm}^2 \\ t_u &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_k &= \min(12033 \text{ N} \\ &\quad 7140 \text{ N} \\ &\quad 6283 \text{ N} \\ &= 6283 \text{ N} \end{aligned}$$

Puu - teräs - puu - teräs - puu liitos					
Puu - teräs - puu osuus			Teräs - puu - teräs osuus		
$f_h =$	25,1	N/mm ²	$t_u =$	50	mm
$t_u =$	50	mm	$t_t =$	5	mm
			$k =$	2,7	
$R_k = \min($	24066	N	$R_k = \min($	12033	N
	14280	N		11170	N
	12567	N			
	$= 11170 \text{ N}$				

Liittimen leikkauskestävyys oikea yläkulma

$$\begin{aligned}\alpha_q &= 1,3 \text{ rad} \\ \alpha_q - \alpha_N &= 0,5 \text{ rad} \\ f_{h,1,k} &= 22,4 \text{ N/mm}^2 \\ \\ d &= 6 \text{ mm} \\ M_y &= 11392 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Puu - puu - puu liitos		
$f_{h,s,k} =$	28,5	N/mm ²
$f_h =$	22,4	N/mm ²
$t_u =$	50	mm
$R_k = \min($	4520	N
	3962	N
	$= 3962 \text{ N}$	

Puu - teräs - puu liitos		
$f_h =$	22,4	N/mm ²
$t_u =$	50	mm
$R_k = \min($	10766	N
	6456	N
	5943	N
	$= 5943 \text{ N}$	

Puu - teräs - puu - teräs - puu liitos					
Puu - teräs - puu osuus			Teräs - puu - teräs osuus		
$f_h =$	22,4	N/mm ²	$t_u =$	50	mm
$t_u =$	50	mm	$t_t =$	5	mm
			$k =$	2,7	
$R_k = \min($	21532	N	$R_k = \min($	10766	N
	12913	N		10566	N
	12567	N			
	$= 10566 \text{ N}$				

Liittimen leikkauskestävyys vasen alakulma

$$\begin{aligned}\alpha_q &= -0,5 \text{ rad} \\ \alpha_q - \alpha_N &= -1,3 \text{ rad} \\ f_{h,1,k} &= 28,2 \text{ N/mm}^2 \\ \\ d &= 6 \text{ mm} \\ M_y &= 11392 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Puu - puu - puu liitos

$$\begin{aligned}
 f_{h,s,k} &= 22,3 \text{ N/mm}^2 \\
 f_h &= 22,3 \text{ N/mm}^2 \\
 t_u &= 63 \text{ mm} \\
 R_k &= \min(5588 \text{ N} \\
 &\quad 3952 \text{ N} \\
 &= 3952 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Puu - teräs - puu liitos

$$\begin{aligned}
 f_h &= 28,2 \text{ N/mm}^2 \\
 t_u &= 50 \text{ mm} \\
 R_k &= \min(13543 \text{ N} \\
 &\quad 7954 \text{ N} \\
 &\quad 6666 \text{ N} \\
 &= 6666 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Puu - teräs - puu - teräs - puu liitos

Puu - teräs - puu osuus

$$\begin{aligned}
 f_h &= 28,2 \text{ N/mm}^2 \\
 t_u &= 50 \text{ mm} \\
 R_k &= \min(27087 \text{ N} \\
 &\quad 15908 \text{ N} \\
 &\quad 12567 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Teräs - puu - teräs osuus

$$\begin{aligned}
 t_u &= 50 \text{ mm} \\
 t_t &= 5 \text{ mm} \\
 k &= 2,7 \\
 R_k &= \min(13543 \text{ N} \\
 &\quad 11851 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$= 11851 \text{ N}$$

Liittimen leikkauskestävyys oikea alakulma

$$\begin{aligned}
 \alpha_q &= 1,1 \text{ rad} \\
 \alpha_q - \alpha_N &= 0,3 \text{ rad} \\
 f_{h,1,k} &= 23,6 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= 6 \text{ mm} \\
 M_y &= 11392 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Puu - puu - puu liitos

$$\begin{aligned}
 f_{h,s,k} &= 30,5 \text{ N/mm}^2 \\
 f_h &= 23,6 \text{ N/mm}^2 \\
 t_u &= 50 \text{ mm} \\
 R_k &= \min(4741 \text{ N} \\
 &\quad 4063 \text{ N} \\
 &= 4063 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Puu - teräs - puu liitos

$$\begin{aligned}
 f_h &= 23,6 \text{ N/mm}^2 \\
 t_u &= 50 \text{ mm} \\
 R_k &= \min(11319 \text{ N} \\
 &\quad 6755 \text{ N} \\
 &\quad 6094 \text{ N} \\
 &= 6094 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Puu - teräs - puu - teräs - puu liitos

Puu - teräs - puu osuus

$$\begin{aligned}
 f_h &= 23,6 \text{ N/mm}^2 \\
 t_u &= 50 \text{ mm} \\
 R_k &= \min(22637 \text{ N} \\
 &\quad 13509 \text{ N} \\
 &\quad 12567 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Teräs - puu - teräs osuus

$$\begin{aligned}
 t_u &= 50 \text{ mm} \\
 t_t &= 5 \text{ mm} \\
 k &= 2,7 \\
 R_k &= \min(11319 \text{ N} \\
 &\quad 10834 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$= 10834 \text{ N}$$

$$K_{\text{mod}} / Y_M = 0,67$$

Kulmaliittimien käyttöasteet leikkauksen suhteen, tarkasteltaessa yksittäistä liitintä

Liitoksen tyyppi = 3 2 leikkeinen Puu - Teräs liitos

Vasen yläkulma

Oikea yläkulma

Voima = 1026 N
 Kapasiteetti = 4189 N
 Käyttöaste = 24,5 %

Voima = 2469 N
 Kapasiteetti = 3962 N
 Käyttöaste = 62,3 %

Vasen alakulma

Oikea alakulma

Voima = 1512 N
 Kapasiteetti = 4444 N
 Käyttöaste = 34,0 %

Voima = 2708 N
 Kapasiteetti = 4063 N
 Käyttöaste = 66,6 %

Rasitetuin liitin

Oikea alakulma

voima = 2708 N
 kapasiteetti = 4063 N
 Käyttöaste = 66,6 %

Koko liitosalueen kapasiteetti leikkauksen suhteen

Yhden Liittimen leikkauskestävyys

$$f_{h,1,k} = 26,9 \text{ N/mm}^2$$

$$d = 6 \text{ mm}$$

$$M_y = 11392 \text{ Nmm}$$

Puu - puu - puu liitos

$$f_{h,s,k} = 31,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_h = 26,9 \text{ N/mm}^2$$

$$t_u = 50 \text{ mm}$$

$$R_k = \min(5372 \text{ N}, 4336 \text{ N})$$

$$= 4336 \text{ N}$$

Puu - teräs - puu liitos

$$f_h = 26,9 \text{ N/mm}^2$$

$$t_u = 50 \text{ mm}$$

$$R_k = \min(12894 \text{ N}, 7604 \text{ N}, 6504 \text{ N})$$

$$= 6504 \text{ N}$$

Puu - teräs - puu - teräs - puu liitos

Puu - teräs - puu osuus

$$f_h = 26,9 \text{ N/mm}^2$$

$$t_u = 50 \text{ mm}$$

$$R_k = \min(25789 \text{ N}, 15209 \text{ N}, 12567 \text{ N})$$

Teräs - puu - teräs osuus

$$t_u = 50 \text{ mm}$$

$$t_t = 5 \text{ mm}$$

$$k = 2,7$$

$$R_k = \min(12894 \text{ N}, 11563 \text{ N})$$

$$= 11563 \text{ N}$$

Liitoksen tyyppi = 3 2 leikkeinen Puu - Teräs liitos
 Liittimen kapasiteetti = 4336 N
 $n_{ef,tot} = 7,8$

Liitoksen kapasiteetti = 33616 N
 Liitosta rasittava voima = 10050 N
 Käyttöaste = 29,9 %

Liitinten minimietäisyydet liitoskappaleessa

$a_1 = \max(29 \quad 42 \quad 25) \text{ mm} = 42 \text{ mm}$
 $a_2 = \max(18 \quad 42 \quad 25) \text{ mm} = 42 \text{ mm}$
 $a_{3t} = 80 \text{ mm}$
 $a_{3c} = 29 \text{ mm}$
 $a_{4t} = 20 \text{ mm}$
 $a_{4c} = 18 \text{ mm}$

Liitinten minimietäisyydet liitettävässä kappaleessa

$\alpha_s = -6^\circ$
 $\alpha_s = -0,10 \text{ rad}$

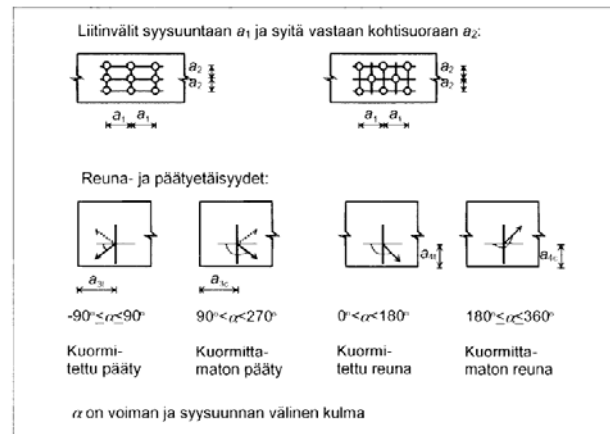
$b_1 = 30 \text{ mm}$
 $b_2 = 18 \text{ mm}$
 $b_{3t} = 80 \text{ mm}$
 $b_{3c} = 24 \text{ mm}$
 $b_{4t} = 18 \text{ mm}$
 $b_{4c} = 18 \text{ mm}$

Liitospuun minimikorkeus

Liitosalueen korkeus = 50 mm
 Liitospuun minimikorkeus = 89 mm
 Valittu liitospuun korkeus = 200 mm

Liitettävän puun minimikorkeus

Liitosalueen leveys/2 = 125 mm
 Liitosalueen korkeus/2 = 25 mm
 $x = 127,475488 \text{ mm}$
 $\beta = 0,20 \text{ rad}$
 $\alpha_N = 0,79 \text{ rad}$
 $e = 106 \text{ mm}$
 $e_2 = 106 \text{ mm}$
 Liitosalueen korkeus = 212 mm
 Liitettävän puun minimikorkeus = 248 mm
 Valittu liitettävän puun korkeus = 200 mm



Halkeamiskestävyys

Liitospuu		Liitettävä puu	
$F_{v,Ed}$ =	6364 N	$F_{v,Ed}$ =	1000 N
b =	100	b =	0
h_e =	125	h_e =	206
h =	200	h =	200
$F_{90,k}$ =	25560 N	$F_{90,k}$ =	#LUKU! N
$F_{90,d}$ =	17040 N	$F_{90,d}$ =	#LUKU! N
käyttöaste =	37,3 %	käyttöaste =	#LUKU!

Liitoksen halkeamiskestävyys käyttöaste = 37,3 %

Määrittävä liitososa: Liitospuu

Rasittava voima = 6364 N

Kapasiteetti = 17040 N

Läpiloikeaminen

Kappale A		Kappale B	
F_{bt} =	7778 N	F_{bt} =	10000 N
t =	100 mm	t =	0 mm
n_2 =	2 kpl	n_2 =	3,0 kpl
a_2 =	50 mm	a_2 =	50,00 mm
d =	6 mm	d =	6 mm
$L_{net,t}$ =	44 mm	$L_{net,t}$ =	88,0 mm
k_{bt} =	1,5	k_{bt} =	1,5
$f_{t,0,k}$ =	19,5 N/mm ²	$f_{t,0,k}$ =	19,5 N/mm ²
$F_{bt,k}$ =	128700 N	$F_{bt,k}$ =	0 N
$F_{bt,d}$ =	85800 N	$F_{bt,d}$ =	0 N
käyttöaste =	9,1 %	käyttöaste =	#JAKO/0!

Liitoksen läpiloikeamiskestävyys käyttöaste = 9,1 %

Määrittävä liitososa: Kappale A

Rasittava voima = 7778 N

Kapasiteetti = 85800 N

Teräslevyn kapasiteetti

Valittu teräs = S235		liitinrivit	Δy	I_x
$f_y =$	235 N/mm ²	1	25	22018
$f_u =$	360 N/mm ²	2	25	22018
$t_{tot} =$	5 mm	3	0	0
$D =$	7 mm	4	0	0
$h =$	200 mm	5	0	0
Liitin rivien määrä =	2	6	0	0
$I_{tot} =$	3333333 mm ⁴	7	0	0
$I_{eff} =$	3289298 mm ⁴	8	0	0
$W =$	32893 mm ³	9	0	0
$W_{pl} =$	39472 mm ³	10	0	0
$A_{eff} =$	930 mm ²	11	0	0
		12	0	0
		13	0	0
		14	0	0
$N_{Ed} =$	10 kN	15	0	0
$V_{Ed} =$	1 kN	16	0	0
$M_{Ed} =$	1 kNm	17	0	0
		18	0	0
		19	0	0
		20	0	0
		21	0	0
		22	0	0
		23	0	0
		24	0	0
		25	0	0
		26	0	0
		27	0	0
		28	0	0
		29	0	0
		30	0	0
		$\Sigma I =$		44036

Taivutuskestävyyden tarkastelu

$$M_{c,Rd} = 9,3 \text{ kNm}$$

$$\text{Käyttöase taivutuksen suhteen} = 10,8 \%$$

Vetokestävyyden tarkastelu

$$N_{pl,Rd} = 235 \text{ kN} \quad \text{Sitkeä murto}$$

$$N_{u,Rd} = 241 \text{ kN} \quad \text{Hauras murto}$$

$$N_{t,Rd} = 235 \text{ kN}$$

$$\text{Käyttöase vedon suhteen} = 4,3 \%$$

Leikkauskestävyyden tarkastelu

$$V_{pl,Rd} = 126 \text{ kN}$$

$$\text{Käyttöaste leikkauksen suhteen} = 0,8 \%$$

Yhdistettyjen rasiutusten tarkastelu

$$\begin{aligned} \rho &= 0,00 \\ (1-\rho)f_y &= 235 \text{ N/mm}^2 \\ M_{pl,Rd} &= 9,3 \text{ kNm} \\ N_{pl,Rd} &= 219 \text{ kN} \\ M_{N,Rd} &= 8,4 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\text{Käyttöaste yhdistettyjen rasiutusten suhteen} = 11,8 \%$$

Reunapuristuslujuuden tarkasteluVoimalle F_x

$$F_x = 1289 \text{ N}$$

$$e_1 = 9 \text{ mm}$$

$$a_b = 0,4$$

$$e_2 = 75 \text{ mm}$$

$$k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd,x} = 9257 \text{ N}$$

$$\text{Käyttöaste} = 13,9 \%$$

Voimalle F_y

$$F_y = 2381 \text{ N}$$

$$e_1 = 75 \text{ mm}$$

$$a_b = 1,0$$

$$e_2 = 9 \text{ mm}$$

$$k_1 = 1,90$$

$$F_{b,Rd,y} = 16416 \text{ N}$$

$$\text{Käyttöaste} = 14,5 \%$$

$$\text{Käyttöaste reunapuristuslujuuden suhteen} = 28,4 \%$$

Palamurtumisen tarkastelu

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$D = 7 \text{ mm}$$

$$t_{tot} = 5 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$h_l = 50 \text{ mm}$$

$$b_l = 250 \text{ mm}$$

$$e_1 = 9 \text{ mm}$$

$$\text{Liitin rivien määrä} = 2$$

$$\text{Liitin määrä rivillä} = 4$$

Murtumistapa 1

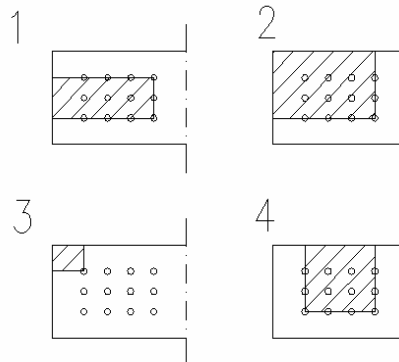
$$F_x = 7,8 \text{ kN}$$

$$A_{nt} = 215 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 2345 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = 380 \text{ kN}$$

$$\text{käyttöaste} = 2,0 \%$$



Murtumistapa 2

$$\begin{aligned} F_x &= 7,8 \text{ kN} \\ A_{nt} &= 572,5 \text{ mm}^2 \\ A_{nv} &= 1172,5 \text{ mm}^2 \\ V_{eff,1,Rd} &= 324 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_y &= 6,36 \text{ kN} \\ A_{nt} &= 1172,5 \text{ mm}^2 \\ A_{nv} &= 572,5 \text{ mm}^2 \\ V_{eff,1,Rd} &= 415 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{käyttöaste} = 3,9 \%$$

Murtumistapa 3

$$\begin{aligned} q_x &= 1,3 \text{ kN} \\ A_{nt} &= 357,5 \text{ mm}^2 \\ A_{nv} &= 27,5 \text{ mm}^2 \\ V_{eff,1,Rd} &= 107 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_y &= 2,4 \text{ kN} \\ A_{nt} &= 27,5 \text{ mm}^2 \\ A_{nv} &= 357,5 \text{ mm}^2 \\ V_{eff,1,Rd} &= 56 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{käyttöaste} = 5,4 \%$$


Murtumistapa 4

$$\begin{aligned} F_y &= 6,36 \text{ kN} \\ A_{nt} &= 1145 \text{ mm}^2 \\ A_{nv} &= 1145 \text{ mm}^2 \\ V_{eff,1,Rd} &= 485 \text{ kN} \\ \text{käyttöaste} &= 1,3 \% \end{aligned}$$

$$\text{Maksimi käyttöaste palamurtumisen suhteen} = 5,4 \%$$

$$\text{Käyttöaste teräsosan kestävyiden suhteen} = 28,4 \%$$

Määräävä tarkastelu: Reunapuristuslujuuden tarkastelu

		Rakennelaskelma, lähtötiedot	
		Tekijä:	Sivu: 1 (1)
		Päiväys:	
Rakennuskohde:	Työ no:	Sisältö:	Sijainti:
Tappivaarnaliitoksen mitoitus		Versio 0.2	

Aikaluokka = Keskipitkä
 Käyttöluokka = 2

Liitoksen tyyppi = 2 leikkeinen Puu - Teräs liitos

Puutavara t_1 = GL32c
 Leveys = 50 mm
 Korkeus = 200 mm

Puutavara t_s = Ei ole
 Leveys =
 Korkeus =

Teräslevyt = S235
 Paksuus = 5 mm

Tapit = S235

Tapin halkaisija d = 6 mm
 Tappien määrä rivillä = 4
 Tappirivien määrä = 2

Liitosta rasittavat voimat

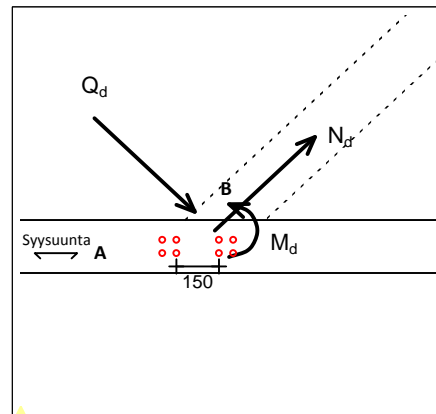
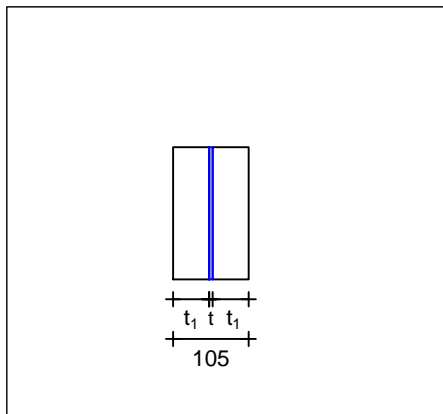
N_d = 10 kN
 Q_d = 1 kN
 M_d = 1 kNm

Kappaleiden A ja B välinen kulma = 45 °

Liittimien minimietäisyys kuormitettuun pätyyn = 80 mm

Kappaleen B kuormitettu pääty on liittimien: Vasemmalla puolella

Liitoksessa on oltava sidepultteja vähintään: 1 kpl



Tarkistus ja tulokset

LÄHTÖARVOJEN TARKISTUS : OK

TULOS 1 : Liittimen leikkauskestävyys

Rasitetuin liitin: Oikea alakulma
 Rasittava voima = 2708 N
 Kapasiteetti = 4063 N

Käyttöaste = 66,6 %

TULOS 2 : Liitoksen leikkauskestävyys

Rasittava voima = 10050 N
 Kapasiteetti = 33616 N

Käyttöaste = 29,9 %

TULOS 3 : Halkeamiskestävyys

Määräävä liitososa: Liitospuu
 Rasittava voima = 6364 N
 Kapasiteetti = 17040 N

Käyttöaste = 37,3 %

TULOS 4 : Läpiloikeamiskestävyys

Määräävä liitososa: Kappale A
 Rasittava voima = 7778 N
 Kapasiteetti = 85800 N

Käyttöaste = 9,1 %

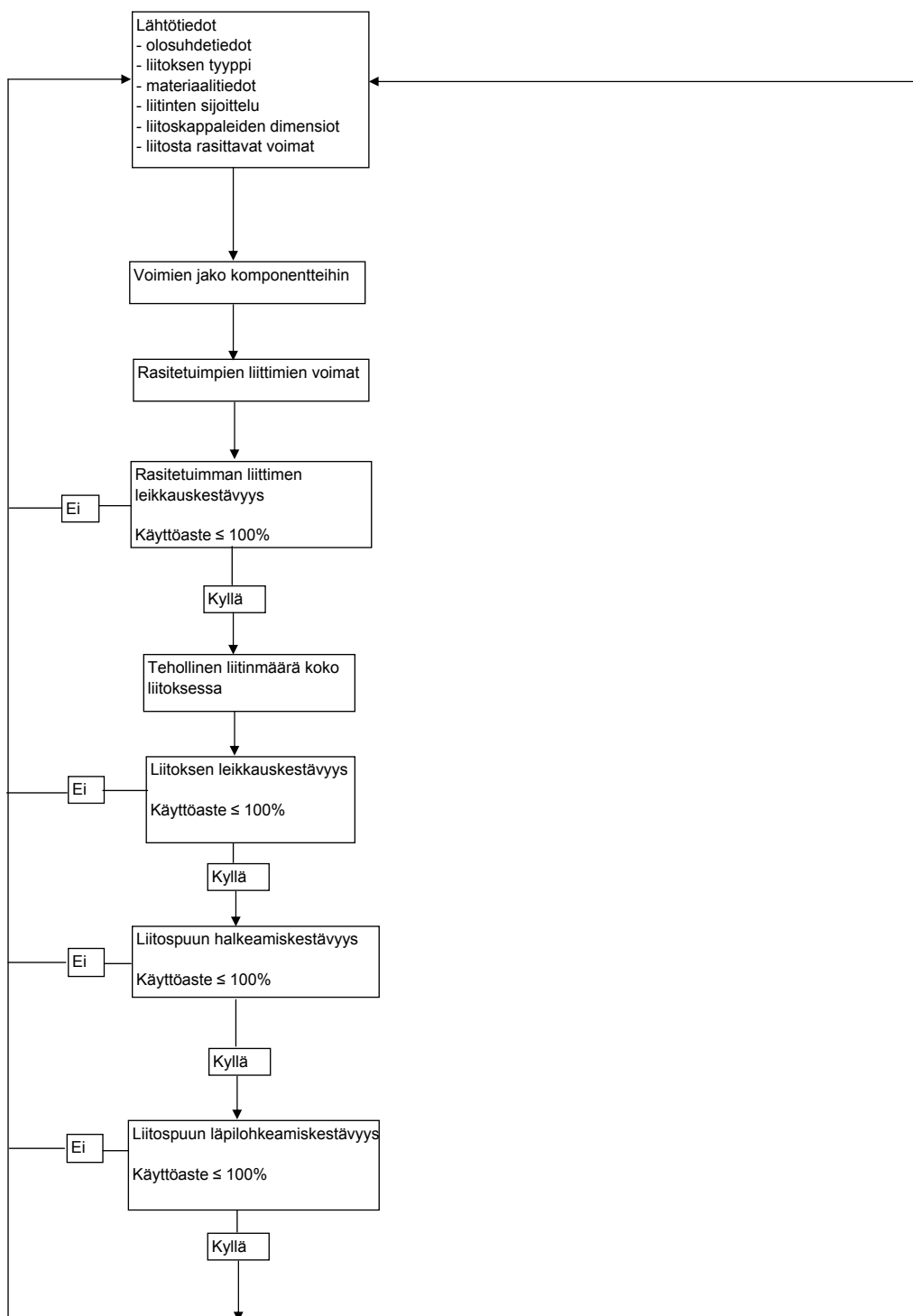
TULOS 5 : Teräslevyn kapasiteetti

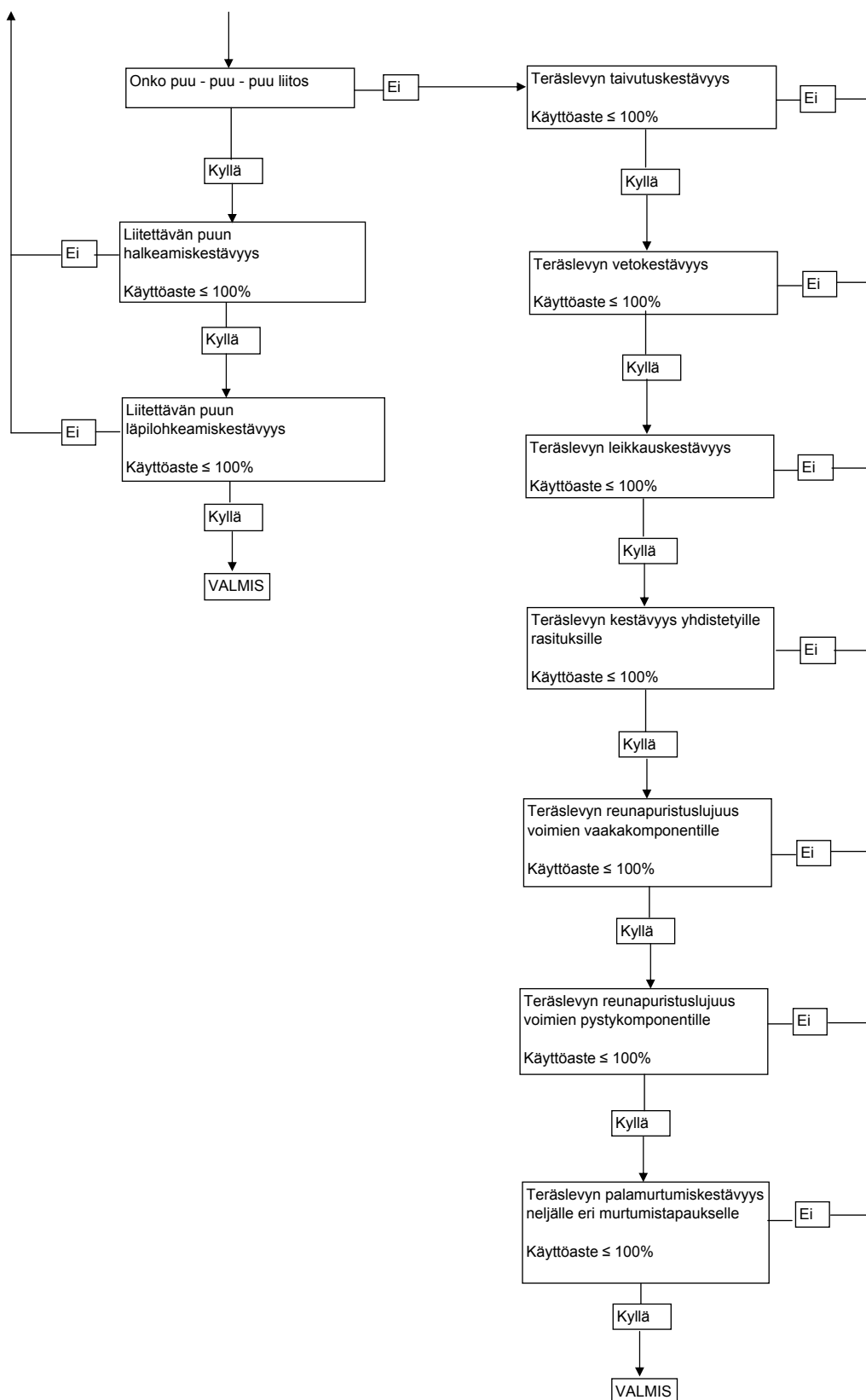
Määräävä tarkastelu: Reunapuristuslujuuden tarkastelu

Käyttöaste = 28,4 %

Maksimi käyttöaste: 66,6 %

Vuokaavio





Tappivaarnaliitoksen mitoitus

versio 0.2 (29.12.2009)



Toiminta- ja käyttöohje

1. Yleiskuvaus

Ohjelmalla voidaan mitoitaa tappivaarnaliitos, joka on tyypiltään puu - puu - puu, puu - teräs - puu tai puu - teräs - puu - teräs - puu liitos. Liitosta voidaan kuormittaa liitettävän kappaleen normaalivoimalla leikkausvoimalla ja momentilla.

2. Oikeudet ja vastuu

Copyright: Insinööritoimisto Ylimäki & Tinkanen ja Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry.
2009 - 2010

Tämä lisenssisopimus muodostaa Tappivaarnaliitoksen mitoitus-ohjelmistoa koskevan sopimuksen lisenssin saajan ja lisensoijan, Insinööritoimisto Ylimäki & Tinkanen yhdessä Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry:n, välillä. Käyttämällä ohjelmistoa hyväksytte tämän lisenssisopimuksen sisältämät ehdot ja rajoitukset jo ennen ohjelmiston käyttöönottoa.

Ohjelmisto ja kaikki siihen liittyvät oikeudet ovat lisensoijan omaisuutta. Lisenssisopimuksen perusteella teillä ei ole omistus- tai immateriaalioikeuksia ohjelmistoon vaan ainoastaan rajoitettu käyttöoikeus ilman käyttöoikeuden siirto-oikeutta kolmannelle osapuolelle. Ohjelmistoa voidaan käyttää vain lisenssin saajan sisäisessä toiminnassa. Lisenssin saajalla on oikeus ottaa kopioita ohjelmistosta omaan käyttöönsä. Kaikkien tällaisten kopioiden on sisällettävä lisensoijan tekijänoikeutta sekä muita oikeuksia koskevat ilmoitukset. Lisensoija antaa käyttöoikeuden ohjelmistoon "sellaisena kuin se on" ilman mitään velvollisuutta ohjelmiston virheiden korjaamiseen tai ohjelmiston päivittämiseen.

Lisenssin saaja on yksin vastuussa ohjelmiston käytöstä ja siitä saatavista laskelmista ja tulosteista, siihen syötetyistä tiedoista ja niihin sisältyvistä virheistä. Lisensoija ei takaa ohjelmiston tai sen avulla tehtyjen laskelmien tai tulosteiden virheettömyyttä. Ohjelmisto laskee voimassaolevien suunnittelustandardien ja suunnitteluohjeiden sekä niiden yleisesti hyväksyttyjen kansallisten liitteiden ja sovellusohjeiden mukaisesti, mutta se ei poista lisenssin saajan vastuuta laskelmien oikeellisuudesta. Lisenssisopimuksen ehdoton vaatimus on, että kaikki ohjelmiston tulosteet tarkistetaan perusteellisesti ennen niiden toteuttamista.

3. Laskennan perusteet

Ohjelma laskee syötettyjen voimien vaaka- ja pystykomponentit ja jakaa ne liittimille, jonka jälkeen tarkistaa rasiitetuimpien liittimien leikkauskestävyyden. Ohjelma laskee tehollinen liitinmäärän koko liitoksessa ja tarkastaa koko liitoksen leikkauskestävyyden. Ohjelma tarkistaa liitoskappaleen halkeamiskestävyys ja läpilohkeamiskestävyys. Mikäli liitostyyppi on puu - puu - puu liitos tarkistetaan nämä myös liitettävälle kappaleelle. Jos liitoksessa on teräslevyjä, tarkistetaan myös teräslevyjen taivutuskestävyys, vetokestävyys, leikkauskestävyys, kestävyys yhdistetyille rasiituksille, reunapuristuslujuus ja palamurtumiskestävyys neljälle eri murtumistavalle, jotka on kuvattu "laskenta 2" välilehdellä.

Ohjelma laskee sidepulttien minimimäärän, jonka näkee "Tulos" välilehdeltä. Sidepulttien lukumäärä on vähintään 1/10 liitoksen tappivaarnojen lukumäärästä. Vähintään yksi sidepultti sijoitetaan reunaosan päätä lähinnä olevaan liitinriviin. Sidepulttia voidaan hyödyntää leikkausvoimia siirtävänä tappivaarnana jos se on leikkausalueelta kierteetön täsmäpultti ja sen paksuus ja lujuus vastaavat tappivaarnaa.

4. Lähtöarvot

Liitostyypit

2-leikkeinen puuliitos keskiosa liittyy: Tässä reuna puut muodostavat kappaleen A ja keskipuu kappaleen B.

2-leikkeinen puuliitos reunaosat liittyy: Tässä keskipuu muodostaa kappaleen A ja reunapuut kappaleen B.

2- ja 4-leikkeinen puu - teräслиitos: Puuteräs liitoksissa ohjelma ei mitoiteta kappaletta B, vaan se on mitoitettava erikseen syöttämällä se kappaleeksi A. Teräslevyt mitoitetaan aina 0 asteen kulmassa kappaleeseen A nähden. Teräslevyt tulevat harvoin määrääviksi liitoksissa, mutta ne on kuitenkin tarkistettava aina ohuimman liitososan mukaan koska teräslevyn korkeutena on aina kappaleen A korkeus.,

Muut lähtöarvot

Ohjelma laskee minimi liitinvälit viitteeksi käyttäjälle, mutta käyttäjä antaa liitinvälit. Jos liitostyyppi on puu - puu - puu liitos, myös liitettävän kappaleen minimi liitinvälit voivat tulla määrääviksi liitoskappaleessa, ohjelma huomioi tämän laskettaessa minimi liitinväliä.

Ohjelma laskee minimi korkeudet puuosille käyttäjän syöttämistä liitinväleistä ja ohjelman laskemista minimi reunaetäisyyksistä. Käyttäjä antaa puuosien korkeudet.

Liittimen voidaan jakaa vaaka ja pystysuunnassa kahteen liitinryhmään, tämä voi olla järkevää momenttijäykissä liitoksissa.

Voimat ovat murtorajatilakuormilla laskettuja liitettävän kappaleen sisäisiä voimia liitospisteessä. Voimat voivat olla positiivisia tai negatiivisia, kuvasta näkee voimien suunnat.

Liitosvoimien aiheuttaman leikkausvoiman pienennys kerrointa käytetään kun halutaan määritellä tarkemmin liitosvoiman pystykomponentin aiheuttamaa leikkausvoimaa. Koska ohjelmaan ei syötetä koko rakennetta, ei voida tietää minkä suuruisen leikkausvoiman liitosvoiman pystykomponentti aiheuttaa liitoskappaleelle, koska se riippuu rakenteen staattisesta mallista. Leikkausvoima on kerroin * liitosvoiman pystykomponentti. Kertoimen ollessa 1 tulos on aina varmalla puolella ja vastaa esimerkiksi tilanetita, joissa liitoskappale on uloke, liitos on hyvin lähellä tukea tai liitos on paarteen jatkos.

5. Lähteet

EN 1995-1-1
RIL 205-1-2007
EN 1993-1-1
EN 1993-1-8